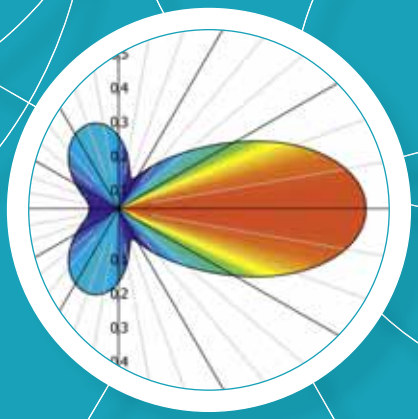
2008/2009



FORSCHUNGSBERICHT

BEUTH HOCHSCHULE FÜR TECHNIK BERLIN

Bis März 2009 Technische Fachhochschule Berlin

BEUTH HOCHSCHULE
FÜR TECHNIK
BERLIN
University of Applied Sciences

2008/2009

FORSCHUNGSBERICHT

BEUTH HOCHSCHULE FÜR TECHNIK BERLIN

BEUTH HOCHSCHULE
FÜR TECHNIK
BERLIN

University of Applied Sciences

Die Forschung als starker Partner der Wirtschaft

Im vorliegenden Forschungsbericht 2008/2009 stellen die Professorinnen und Professoren aktuelle Ergebnisse aus ihren Forschungs- und Entwicklungsarbeiten vor. Die Arbeiten entstanden noch an der Technischen Fachhochschule Berlin, die ab 1. April 2009 in Beuth Hochschule für Technik umbenannt wurde. Die Autorenliste zeigt, dass viele der Beiträge in Zusammenarbeit mit jungen Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftlern erarbeitet wurden, die in drittmittelgeförderten Projekten an der Beuth Hochschule für Technik Berlin oder in Unternehmen beschäftigt sind. Die Beuth Hochschule baut verstärkt ihre interdisziplinären F&E-Projekte in kooperativer Zusammenarbeit mit KMUs aus, und weist sich damit als ein produktiver Partner der Industrie aus. Die enge Zusammenarbeit mit den Firmen ist der Garant dafür, dass die Forschung an der Beuth Hochschule aktuell und anwendungsorientiert ist. Davon profitiert auch die Lehre, indem beispielsweise Lösungen für aktuelle Fragen in den Unternehmen in den Lehrveranstaltungen als Fallbeispiele vermittelt werden. So entsteht ein gegenseitiger Nutzen für Forschung, Lehre und Wirtschaft. Die Studierenden sind besonders motiviert, wenn in den Studienprojekten nützliche Aufgabenstellungen für Firmen bearbeitet werden.

Der Forschungsbericht enthält Teilergebnisse des aus Mitteln des Europäischen Sozialfonds (ESF) geförderten Projektes „Forschungsassistenz“ sowie weiterer BMBF-geförderter F&E-Projekte. Junge Ingenieurinnen, Ingenieure, Naturwissenschaftlerinnen und Naturwissenschaftler entwickeln neue Technologien, Dienstleistungen oder Verfahren und setzen diese in Kooperation mit einem Betrieb um. Ehemalige Forschungsassistenten /-innen wirken bereits in verschiedensten Firmen als Mitarbeiter /-innen an der Fortführung der Industriekooperation mit.

Im Forschungsbereich der Beuth Hochschule spielen die Berliner Forschungscluster – Informations- und Kommunikationstechnologie, Gesundheit, Medizintechnik, Optische Technologien, Verkehrstechnik sowie Energie und Umwelttechnik – eine wichtige Rolle. Im vorliegenden Forschungsbericht finden sich demzufolge mehrere Beiträge zu den Themen Bionik, Biotechnologie, Bioinformatik und Systembiologie. Ein weiteres Forschungsprojekt befasst sich mit datenbankbasierter Dokumentation des Schädlingsbefalls von Bäumen mit georeferenzierten Bildern. In Zeiten der globalen Erwärmung und des Klimawandels wird an der Beuth Hochschule auch zu Verfahren geforscht, die Energie und damit auch Kosten sparen sowie die Umweltbelastung reduzieren. Gemeint sind Energieeffizienz in der Gebäudetechnik oder Energiegewinnung aus Meereswellen. Ein Schwerpunkt unserer Forschung in den Wirtschafts- und Gesellschaftswissenschaften sind Arbeitspsychologie und Arbeitsrecht, insbesondere unter genderspezifischen Gesichtspunkten.

Wir wünschen bei der Lektüre neue Erkenntnisse sowie weiterführende Anregungen und bedanken uns bei allen, die bei der Entstehung des Forschungsberichtes 2008/2009 mitgewirkt haben.

Prof. Dr.-Ing. Reinhard Thümer
Präsident

Prof. Dr. Gudrun Görlitz
Vizepräsidentin für Forschung
und Entwicklung

Fachbereich I • Wirtschafts- und Gesellschaftswissenschaften

Die Effizienz betrieblicher Gesundheitsförderung für gering qualifizierte Beschäftigte
Prof. Dr. Dieter Gloede, Prof. Dr. Antje Ducki, Dipl.-Psych. Tanja Kalytta 7

Der Einfluss neuerer Gesetzgebung auf Einstellungs- und Karrierechancen qualifizierter Frauen am Beispiel der Ingenieurinnen
Prof. Dr. Annegret Döse 11

Web 2.0-Tools im Medienprojektmanagement – Ein Werkstattbericht
Dipl.-Ing. Joachim Bode, Prof. Dr. phil. Anne König 14

Die Betriebswahl im Prozess der Berufseinmündung im dualen System der Berufsausbildung
Prof. Dr. phil. Matthias Schmidt, Christoph Schank 18

Fachbereich II • Mathematik – Physik – Chemie

Maximum principle and some uniqueness results for the generalized time-fractional diffusion equation
Prof. Dr. Yury Luchko 22

In der Kürze liegt die Würze – das kurze Foucault-Pendel
Prof. Dr. Wolfgang Vollmann, Dipl.-Ing. (FH) Jürgen Landskron, Harald Gerullis 25

Entwicklung von Verfahren zur Extraktion und Reinigung von Feinchemikalien aus Biotransformations-prozessen / Teilprojekt: Entwicklung von Extraktions- und Reinigungsschritten
Prof. Dr. Rainer Senz, Dipl.-Ing. Michael Burkhardt 30

Retrospective Optimization of treatment planning for Permanent Seed Implantation based on clinical outcome
Prof. Dr. Kay-Uwe Kasch, Dipl.-Ing. Cora Coch, Prof. Dr. Peter Wust 35

Die Fußpunktkurve und Kennzeichnungen von logarithmischen Spiralen
Prof. Dr. Angela Schwenk-Schellschmidt 38

Lipid Emulsion as Delivery Systems for Different Drugs
Prof. Dr. Mont Kumpugdee Vollrath, Ms. Hilal Bilek, Ms. Kanokporn Burapapadh, Mr. Mahir Dogangüzel 43

Spieltheoretische Analyse der Machtverhältnisse im Rat der Europäischen Union
Dipl-Math. (FH) Kevin Schwarzer, Prof. Dr. Karl-Michael Ortmann 48

Simulation der Schallausbreitung über einer Impedanzebene mit Hilfe der Boundary-Element-Method
Dipl.-Ing. Haike Brick, Prof. Dr.-Ing. Martin Ochmann 52

Detektion von Minen im Frequenzbereich, Projektphasen IV und V
Dipl.-Ing. Ralf Burgschweiger, Prof. Dr.-Ing. Martin Ochmann 57

Einfluss von Temperaturgradienten auf den von Flammen erzeugten Verbrennungslärm
Dr.-Ing. Rafael Piscoya, Prof. Dr.-Ing. Martin Ochmann 62

Fachbereich III • Bauingenieur- und Geoinformationswesen

Netzwerk Fließgewässer im urbanen Raum
Prof. Dr. Stefan Heimann 68

Einzugsgebiete der Studiengänge und regionale Herkunft der Studienbewerber der TFH Berlin
Prof. Dr. Jürgen Schweikart, M.Sc. Jonas Pieper, M.Sc. Conrad Franke 73

Kontinuierliche Deformationsmessungen mit geodätischen Sensoren an einer einzigartigen Schräg-seilbrücke in St. Petersburg (Russland)
Prof. Dr. Boris Resnik, Prof. Dr. Mikhail Bryn, Dipl.-Ing. Andrey Nikichin 78

Fachbereich IV • Architektur und Gebäudetechnik

Entwicklung eines direkten Wärmetauschers für einen Brennwertkessel
Prof. Dr. Elfriede Herzog 83

Entwicklung und Strukturierung eines FM- Lehrpfades
Prof. Dr. Angelika Banghard 90

Thermografie zur Beurteilung von Wärmebrücken
Prof. Dr.-Ing. Detlef Liesegang 94

Simulation der Erdreichwärmenutzung mit einer Wärmepumpe
Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Bendel, Dipl.-Ing. (FH) Sabine Krutzsch 98

Klimagerechte Qualitätsoffensive im kommunalen Immobilienmanagement
Prof. Dipl.-Kfm. Kai Kummert 102

Die Haftung des Architekten bei arglistig verschwiegenen Mängeln
Prof. Dr.-Ing. Sven Gärtner 105

Fachbereich V • Life Sciences and Technology

Konzept eines Einwegspritzensystems auf Blisterbasis
Prof. Dr.-Ing. Ingo Sabotka, B. Eng. Benjamin Henk 110
Entwicklung von Zellkultursystemen zur Produktion diagnostischer und therapeutischer Glykoproteine mit modifizierter Sialylierung
Dr. Heinz Möller, Dr. Stefan Reinke, MTA Marion Bayer, Prof. Dr. rer. nat. habil. Stephan Hinderlich 114
Proteinchemische Untersuchungen der Muskeldystrophie
Dipl.-Ing. (FH) Jie Guo-Thürmann, Dr. Kunigunde Stephani-Kosin, Prof. Dr. Roza Maria Kamp 118
Einfluss eines erhöhten Kohlendioxidpartialdrucks auf die Ausbeute thermostabiler α-Amylase und Protease aus Bacillus caldolyticus
Dipl.-Ing. (FH) Martin Senz M.Sc., Prof. Dr.-Ing. Milan Popović 122

Fachbereich VI • Informatik und Medien

Measuring Interestingness of Association Rules with Educational Data
Prof. Dr. Agathe Merceron 126
Datenbankbasierte Dokumentation des Schädlingsbefalls von Bäumen mit georeferenzierten Bildern
Prof. Dr. Petra Sauer, Dipl.-Inf. Steffen Heuschkel 129
Modellierung und Analyse des Kohlenstoffmetabolismus in Pflanzen auf der Grundlage der Petrinetztheorie
Prof. Dr. rer. nat. Ina Koch 133

Fachbereich VII • Elektrotechnik und Feinwerktechnik

Wireless Multicast of Real-Time High Quality Audio
Prof. Dr.-Ing. Marcus Purat, Dipl.-Ing. Tom Ritter 136
Überlagerung von Ultraschall und Audioschall: Neue Wege zur Schallerfassung
Prof. Dr.-Ing. Tobias Merkel 142
Robuster Regler nach dem Polabstandsverfahren für strukturvariable und nichtlineare Regelstrecken
Prof. Dr.-Ing. Andreas Hambrecht 145
Streifenprojektion zur Topometriebestimmung des vorderen Augenabschnitts
Prof. Dr. Manuel Fraatz, M.Sc. Thomas Mühlberg, Dr. Stephan Schründer 149
Untersuchungen zum Heißprägen von HARMST – High Aspect Ratio Microsystems – in thermoplastischen Kunststoff
Prof. Dr.-Ing. Andreas Risse, Dipl.-Ing. (FH) Alexander Mai 152

Fachbereich VIII • Maschinenbau, Verfahrens- und Umwelttechnik

Musterverarbeitung in Optimierungsstrategien nach dem Vorbild der biologischen Signaltransduktion
Dipl.-Ing. Michael Dienst 160
Verkehrs- und Energiesicherheit als Grundlage für die nachhaltige Entwicklung der zentralasiatischen Länder
Kubatbek Muktarbek uulu, Prof. Dr.-Ing. Hans-Dieter Kleinschrodt 164
Unternehmenskultur und Prozessdisziplin in komplexen Produktionssystemen: Ein Schlüssel zur Nachhaltigkeit
Prof. Dr.-Ing. Nicolas P. Sokianos 168
Hydrierung PVC-haltiger Kunststoffabfälle bei niedrigem Druck
Dipl.-Ing. (FH) Manfred Marks, Prof. Dr. Rainer Geike 173
Energie aus Meereswellen Turbinen mit oszillierender Luftströmung zur Nutzung von Wellenenergie
Prof. Dr.-Ing. Bracke 177
Einsatz automatisierter Simulationsprozessketten am Beispiel einer Triebwerkskomponente
Prof. Dr. Joachim Villwock, M. Eng. Bernd Meißner, Marek Podogzinski, Dr. Roland Parchem 181

Die Effizienz betrieblicher Gesundheitsförderung für gering qualifizierte Beschäftigte

Prof. Dr. Dieter Gloede, Prof. Dr. Antje Ducki, Dipl.-Psych. Tanja Kalytta
Forschungsschwerpunkt: Arbeits- und Gesundheitspsychologie, Präventionsforschung

Kurzfassung
Das betriebliche Umfeld am Arbeitsplatz bietet besonders günstige Rahmenbedingungen, um gering qualifizierte Beschäftigte mit wirksamen persönlichen Ressourcen für eine gesundheitsorientierte Lebensführung auszustatten. Als Zielgruppe betrieblicher Fördermaßnahmen werden diese Arbeitnehmer aber oft vernachlässigt, weil ihr Beitrag zum Unternehmenserfolg ebenfalls als gering eingeschätzt wird. Eine speziell auf diese Problematik abzielende Deckungsbeitragsrechnung ermöglicht Entscheidungsträgern in Unternehmen und Krankenkassen eine realistische Einschätzung der Kosten und Erfolgspotenziale von Gesundheitstrainings.

Abstract
Workplace environments offer particularly suitable settings for health-promotion programmes aimed at unskilled and semi-skilled employees. By contrast, these workforce members tend to be neglected as a target group for staff training activities due to seemingly low-level contributions to corporate profitability. A specially designed marginal costing method now allows health fund managers and staff executives to take a basic approach to the costs and benefits of worksite health-promotion.

Ausgangssituation

Im Rahmen des BMBF-Forschungsprojektes ReSuM (Stress- und Ressourcenmanagement für un- und angelernte Beschäftigte) wurde ein betriebliches Stresstraining entwickelt, das speziell auf die Bedürfnisse gering qualifizierter Arbeitnehmer zugeschnitten ist. Die Multiplikationsfähigkeit dieses Präventionsangebotes wird von den wirtschaftlichen Rahmenbedingungen betrieblicher Gesundheitsförderung bei privaten und öffentlichen Arbeitgebern maßgeblich beeinflusst. Die Evaluation der ReSuM-Interventionen fokussiert daher nicht allein deren medizinisch-psychologische Effektivität, sondern auch die wirtschaftliche Effizienz des Trainings. Die Effizienzbewertung betrieblicher Gesundheitsförderung wirft methodische Fragen auf, für die in Forschung und Praxis bisher noch keine allgemein gültigen Antworten gefunden wurden. Neben dem grundsätzlichen Stellenwert der Effizienz als Kriterium für die Entscheidung über gesundheitsbezogene Maßnahmen werden deshalb im Folgenden vor allem Anforderungen an eine verursachungsgerechte Bewertungsmethodik erörtert.

Stresstraining für gering qualifizierte Beschäftigte

Trainingsziele

Das Erwerbsleben un- und angelernter Beschäftigter ist überdurchschnittlich häufig durch fehlende Einflussmöglichkeiten auf die Arbeitsplatzsituation, geringe Arbeitsplatzsicherheit und unzureichende persönliche Ressourcen zur Stressbewältigung geprägt. Dementsprechend ist das Risiko stressbedingter Erkrankungen für diese Arbeitnehmer deutlich höher als bei besser qualifizierten Berufstätigen [Eur 02]. Ziel des ReSuM-Stresstrainings ist es, die vorhandenen Ressourcen zur konstruktiven Stressbewältigung zu stärken und weiterzuentwickeln. Da sich das Stresserleben und die stressbezogenen Copingstrategien von Männern und Frauen voneinander unterscheiden, wird Genderaspekten dabei besonderes Augenmerk gewidmet.

Interventionsmethodik

Die ReSuM-Intervention ist für geschlossene Teams mit maximal zwanzig Teilnehmern konzipiert. Die Teilnehmer besuchen vier modular aufgebaute Trainingseinheiten mit einer Zeitdauer von jeweils drei Stunden. Im Rahmen des ersten Moduls werden zunächst Informationen über das Phänomen Stress und über dessen Vermeidung durch Sport und Bewegung vermittelt. Die beiden anschließenden Module behandeln teambezogene Aspekte der Stressvermeidung und -bewältigung durch konstruktive Zusammenarbeit am Arbeitsplatz und fairen Umgang mit anderen. Zum Abschluss des Gruppentrainings werden Fragen der Work-Life-Balance thematisiert und ein persönlicher Entwicklungsplan für alle Teilnehmer ausgearbeitet. Ein fünftes Trainingsmodul ist den direkten Vorgesetzten der Gruppenmitglieder vorbehalten, um auch die Führungskräfte für ihre Rolle beim Stresserleben und bei der Stressbewältigung am Arbeitsplatz zu sensibilisieren.

Wirtschaftliche Effizienz als Bewertungskriterium

Die Effizienz von Handlungen ergibt sich aus der Gegenüberstellung eines Handlungserfolges mit den hierfür verbrauchten Ressourcen. Wirtschaftliche Effizienz im engeren Sinne liegt vor, wenn das Verhältnis zwischen finanziellem Erfolg (z.B. Gewinn) und finanziellem Ressourceneinsatz (z.B. Gesamtkapital eines Unternehmens) einen optimalen Wert erreicht.

Die Frage der wirtschaftlichen Effizienz betrieblicher Gesundheitsförderung ist für Unternehmen und Krankenkassen von unterschiedlicher Bedeutung. Grundsätzlich fallen die Kosten betrieblicher Fördermaßnahmen in den jeweiligen Unternehmen an. Folglich müssen sie mit begrenzten Finanzierungsspielräumen und der Gewinnerzielungsabsicht der Eigentümer vereinbar sein. Konflikte zwischen medizinischer Effektivität und wirtschaftlicher Effizienz können insbesondere dann vermieden werden, wenn es gelingt, gesundheitlich bedingte Fehlzeiten der Mitarbeiter zu reduzieren und/oder deren Arbeitsproduktivität zu erhöhen. Falls diese Effekte zur Deckung der Kosten betrieblicher Gesundheitsförderung nicht ausreichen, kommen die gesetzlichen Krankenkassen als weitere Finanzierungsquelle in Betracht. Auch sie unterliegen dem Gebot wirtschaftlichen Handelns, ihr Versorgungsauftrag ist aber nicht mit einer Gewinnerzielungsabsicht verbunden. Aus Sicht der Krankenkassen ist die wirtschaftliche Effizienz von Präventionsmaßnahmen daher nur dann ein eindeutiges Entscheidungskriterium, wenn mehrere Alternativen zur Auswahl stehen, die bei identischen Kosten gleichartige, aber unterschiedlich stark ausgeprägte medizinische Wirkungen verursachen.

Vor diesem Hintergrund soll die Bewertung der wirtschaftlichen Effizienz betrieblicher Gesundheitsförderung dazu beitragen, folgende Ursachen für das Unterlassen medizinisch effektiver Maßnahmen auszuschalten:

- Intransparenz von Kosten und/oder Einsparungspotenzialen aus Sicht der betrieblichen Entscheidungsträger
- Fehlender Ausgleich der finanziellen Chancen und Risiken zwischen Unternehmen und Krankenkassen.

Kann im Rahmen der betrieblichen Gesundheitsförderung auf mehrere Alternativen mit (annähernd) gleicher medizinisch-psychologischer Effektivität zurückgegriffen werden, soll darüber hinaus erkennbar werden, welche dieser Maßnahmen die kostengünstigste ist.

Bewertungsmethodik und bisherige Ergebnisse

Stand der Forschung

Die Effizienz gesundheitsbezogener Präventionsmaßnahmen ist Gegenstand zahlreicher Studien aus der jüngeren Vergangenheit. Da nicht alle wirtschaftlich relevanten Wirkungen dieser Maßnahmen zuverlässig bewertet werden können, fließen in deren finanziellen Erfolg in der Regel nur die Verringerung gesundheitlich bedingter Fehlzeiten und die Vermeidung krankheitsbedingter Kosten auf Seiten des Arbeitgebers ein [And 01]. Der letztgenannte Effekt wird insbesondere in US-amerikanischen Studien untersucht und ist aufgrund der unterschiedlichen Krankenversicherungssysteme nicht ohne Weiteres auf deutsche Verhältnisse übertragbar, so dass sich die bisherigen Erkenntnisse über präventionsbedingte Einsparungen im Wesentlichen auf die Entwicklung von Fehlzeiten beschränken.

In der Mehrzahl der Fälle wird in den vorliegenden Studien das relative Verhältnis zwischen den Kosten der jeweils untersuchten Maßnahme und präventionsbedingten Einsparungen als Effizienzkriterium verwendet. Bezogen auf die Fehlzeitentwicklung bewegt sich das Kosten-Gewinn-Verhältnis je nach Studie zwischen 1 : 2,50 und 1: 4,85 [Ald 01]. Dies entspricht einer Rentabilität von 250% bis 485% und wird – in deutschsprachigen Studien missverständlich – als so genannter „Return on Investment“ bzw. „ROI“ bezeichnet. Ein Rentabilitätsvergleich ermöglicht allerdings nur dann eine eindeutige Aussage über die Effizienz alternativer Maßnahmen, wenn alle Alternativen identische Kosten verursachen. Da zudem keine allgemein gebräuchlichen Bewertungsstandards existieren, leisten diese Ergebnisse keinen nennenswerten Beitrag zur Effizienzbewertung des ReSuM-Stresstrainings.

Die Methodik der Deckungsbeitragsrechnung

Aufgrund der konzeptionellen Defizite gängiger Methoden der Effizienzbewertung im betrieblichen Gesundheitswesen wurde ein eigenständiges Konzept der mehrstufigen Deckungsbeitragsrechnung für Präventionsmaßnahmen entwickelt, mit dessen Hilfe unter anderem auch der Einfluss situationsspezifischer

Bedingungen (z.B. Anzahl der Teilnehmer, erstmalige oder wiederholte Durchführung) auf die Effizienz einer Maßnahme sichtbar gemacht werden kann (siehe Abb. 1). Darüber hinaus ermöglicht diese Bewertungsmethodik durch die Vorgabe von Sollwerten eine unter Wirtschaftlichkeitsgesichtspunkten optimierte Planung und Steuerung betrieblicher Gesundheitsinterventionen. Zur praktischen Durchführung der Effizienzanalyse steht ein Kalkulations-Tool auf Basis der Standardsoftware MS Excel® zur Verfügung, das im Rahmen des ReSuM-Projektes entwickelt wurde.

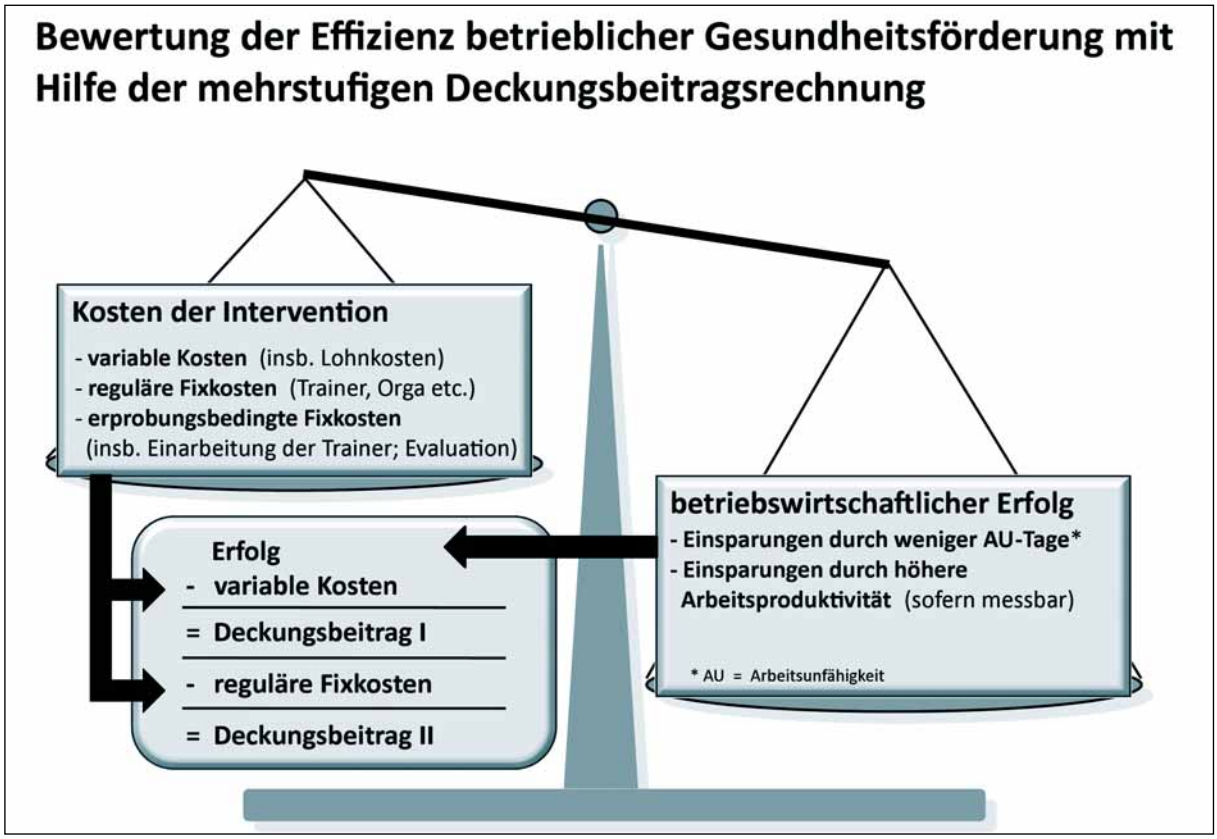

Bewertung der Effizienz betrieblicher Gesundheitsförderung mit Hilfe der mehrstufigen Deckungsbeitragsrechnung
Kosten der Intervention
- variable Kosten (insb. Lohnkosten)
- reguläre Fixkosten (Trainer, Orga etc.)
- erprobungsbedingte Fixkosten (insb. Einarbeitung der Trainer; Evaluation)
betriebswirtschaftlicher Erfolg
- Einsparungen durch weniger AU-Tage*
- Einsparungen durch höhere Arbeitsproduktivität (sofern messbar)
* AU = Arbeitsunfähigkeit
Erfolg
- variable Kosten
= Deckungsbeitrag I
- reguläre Fixkosten
= Deckungsbeitrag II

Abb. 1: Mehrstufige Deckungsbeitragsrechnung

Bedingungen für wirtschaftliche Effizienz

Nach der Erprobung des ReSuM-Stresstrainings in fünf Betrieben wurden in einem ersten Erhebungslauf kosten- und leistungsbezogene Daten ermittelt und einer vorläufigen Auswertung unterzogen. Dabei ergab sich, dass im Durchschnitt jeweils etwa ein Drittel der Gesamtkosten einer Intervention auf variable Kosten, reguläre Fixkosten und erprobungsbedingte Kosten entfällt. Um die variablen Kosten und die regulären Fixkosten vollständig zu decken (*Break-Even*-Punkt), muss der Trainings-Zeitbedarf der Teilnehmer durch einen doppelt so hohen Zugewinn an produktiver Arbeitszeit ausgeglichen werden. Dies entspricht einer Einsparung von ca. vier Arbeitsunfähigkeits-Tagen je Teilnehmer. Nach Ablauf des untersuchten Wirkungszeitraums der Interventionen wird im Rahmen einer Längsschnittanalyse untersucht, ob und inwieweit diese Bedingung für die wirtschaftliche Effizienz in den beteiligten Betrieben erfüllt werden konnte.

Zusammenfassung und Ausblick

Einer Multiplikation des ReSuM-Stresstrainings und anderer Maßnahmen der betrieblichen Gesundheitsförderung sind unklare oder negative wirtschaftliche Effekte für die beteiligten Unternehmen ebenso abträglich wie eine unnötig hohe Kostenbeteiligung der Krankenkassen. Die Deckungsbeitragsrechnung ist ein einfach handhabbares Instrument, mit dessen Hilfe die Bedingungen für eine effiziente Durchführung von gesundheitsbezogenen Interventionen aufgezeigt werden können (*Break-Even*-Rechnung). Das Problem der mangelnden Vergleichbarkeit und Übertragbarkeit fallspezifischer Ergebnisse von Rentabilitätsanalysen wird dabei durch eine betriebsindividuelle Sollwert-Analyse überwunden. Entscheidungsträger in Unternehmen und Krankenkassen werden damit in die Lage versetzt, Spielräume für eine wirtschaftlich tragfähige Finanzierung betrieblicher Gesundheitsförderung deutlich besser abzuschätzen als bisher.

Literatur

[Ald 01] Aldana, S. (2001): Financial Impact of Health Promotion Programs: A Comprehensive Review of the Literature. In: American Journal of Health Promotion 15 (2001), S. 296-320.

[And 01] Anderson, D.; Serxner, S. A.; Gold, D. B. (2001): Conceptual Framework, Critical Ques-tions, and Practical Challenges in Conducting Research on the Financial Impact of Worksite Health Promotion. In: American Journal of Health Promotion 15 (2001), S. 281-288.

[Eur 02] Europäische Stiftung zur Verbesserung der Lebens- und Arbeitsbedingungen (2002): Dritte Europäische Umfrage über die Arbeitsbedingungen 2000. Hrsg.: Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaft, Luxemburg 2002.

Kontakt

Prof. Dr. Dieter Gloede
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 2144
E-Mail: gloede@beuth-hochschule.de

Prof. Dr. Antje Ducki
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 2548
E-Mail: ducki@beuth-hochschule.de

Der Einfluss neuerer Gesetzgebung auf Einstellungs- und Karrierechancen qualifizierter Frauen am Beispiel der Ingenieurinnen

Prof. Dr. Annegret Döse Forschungsschwerpunkt: Arbeitsrecht, Gender und Beruf

Kurzfassung

Am Beispiel des Allgemeinen Gleichbehandlungsgesetzes (AGG) und des Bundeselterngeld- und Elternzeitgesetzes (BEEG) wird untersucht, wieweit Gesetzgebung mit gleichstellungspolitischer Zielsetzung geeignet ist, die Chancengleichheit im Beruf für – qualifizierte – Frauen zu verbessern. Trotz der langjährigen Existenz von Gleichstellungsrecht ist die faktische Gleichstellung von Frauen und Männern im Erwerbsleben immer noch nicht eingelöst. Das zeigt besonders deutlich das Beispiel der Ingenieurinnen. Das BEEG hat sichtbar positive Auswirkungen für die Gleichstellung der Geschlechter im Erwerbsleben herbeigeführt. Bezüglich der Erzielung positiver Wirkung für Frauen durch das AGG ist noch kein sicheres Urteil möglich.

Abstract

To which extent is legislation aimed at reaching equality between the sexes in order to improve the "equality of opportunities" for qualified women? This question is discussed on the basis of the "General Equality Law" of 2006 (AGG) and the "Law of Parental Leave and Parental money" (BEEG) of 2007. Although equality law has existed for a long time, real equality between men and women has not been realized until today – the example of female engineers points this out clearly. The BEEG has had a positive and noticeable effect on the equality of sexes in employment. With regard to the AGG, a judgment is still to be made.

Einleitung

In neuerer Zeit sind zwei Gesetze in Kraft getreten, die die Einstellungs- und Karrierechancen von Frauen positiv beeinflussen könnten: das Allgemeine Gleichbehandlungsgesetz (AGG) aus dem Jahre 2006, das – neben anderen Merkmalen – auch das Merkmal Geschlecht vor Diskriminierungen schützt, und das im Jahre 2007 in Kraft getretene Bundeselterngeld- und Elternzeitgesetz (BEEG), das in erster Linie auf die bessere Vereinbarkeit von Beruf und Familie abzielt. Von Interesse ist konkret, wieweit diese beiden Gesetze geeignet sind, die Einstellungs- und Karrierechancen für qualifizierte Frauen zu verbessern; weiterhin interessiert allgemein, wieweit Gesetzgebung mit gleichstellungspolitischer Zielsetzung geeignet ist, gesellschaftlich erwünschte Entwicklungen zu steuern.
Besonderes Augenmerk ist der Situation einer Sondergruppe weiblicher Erwerbstätiger, den Ingenieurinnen, gewidmet. Diese sind in höherem Maße als ihre männlichen Kollegen von Arbeitslosigkeit betroffen und üben häufiger unterqualifizierte Tätigkeiten aus [vgl. Sch 07].

Das Forschungsprojekt

Gleichheitsdefizite im Erwerbsleben und Erwartungen an eine geschlechtergerechte Arbeitswelt

Trotz Gleichstellungsauftrags in verschiedenen Rechtsvorschriften ist in der Realität die Gleichstellung von berufstätigen Frauen bzw. Müttern mit ihren männlichen Kollegen nicht eingelöst. Es besteht ein – im europäischen Vergleich – übermäßig starkes geschlechtsspezifisches Lohngefälle. Beim Anteil der Frauen an Führungspositionen in Unternehmen liegt Deutschland im europäischen Mittelfeld. Ein neues Phänomen ist, dass bereits Studentinnen als künftige Erwerbstätige die faktische Gleichstellung in der Arbeitwelt stärker einfordern. Das Auseinanderklaffen von Anspruch und Wirklichkeit tritt somit deutlicher zutage (siehe dazu auch das Vorprojekt[1] der Autorin [Dös 07] im WS 2006/07 an der TFH Berlin.

Zur Gestaltungswirkung von Gesetzen mit sozialpolitischer Zielsetzung

Ob und wieweit Gesellschaft durch Recht gestaltet werden kann, ist eine Frage, mit der sich Rechtstheorie, Rechtssoziologie und Rechtstatsachenforschung seit längerem beschäftigen. Insbesondere bezüglich der Steuerungsfähigkeit sozialpolitisch gestaltenden Rechts, das nicht nur vorhandene Normen nachvollziehen, sondern neue soziale Normen implementieren soll, sind starke Zweifel vorhanden. Auf der anderen Seite ist die symbolische Wirkung von sozialpolitisch gestaltendem Recht und dessen möglicherweise proaktive Wirkung zu berücksichtigen. Derartige Rechtsgrundsätze drücken oft fundamentale Wertentscheidungen des Gesetzgebers zu einem bestimmten Zeitpunkt aus [vgl. Jan 05].

[1] Erwartungen von Ingenieurstudentinnen an eine berufliche Tätigkeit unter dem Gesichtspunkt der Vereinbarkeit von Beruf und Familie

Methoden zur Beurteilung der Wirkung von Gesetzen

Zur Beurteilung der Wirkung von arbeitsrechtlichen Gesetzen sind verschiedene methodische Ansätze denkbar. Für dieses Projekt wurde ein „Methodenmix“ verwendet: Ausgewertet wurden Pressemitteilungen, Broschüren des Bundesfamilienministeriums sowie juristische Literatur zum Thema. Ergänzend wurden die Ergebnisse von Interviews, die mit Personalverantwortlichen von zwei großen Konzernen geführt wurden, in die Betrachtung einbezogen. Außerdem wurden Aspekte der ökonomischen Theorie des Rechts fruchtbar gemacht.

Der Beitrag des AGG zur Herstellung faktischer Gleichheit im Geschlechterverhältnis

Insgesamt geht das AGG als Umsetzung von EG-Recht über das europäische Minimum hinaus, indem es die Erfahrungen mit den früheren Gleichstellungsregelungen des BGB, den Quotenregelungen für Frauen und dem Beschäftigtenschutzgesetz aufgreift. Es zeigen sich aber auch Schwächen bei der Umsetzung des EG-Rechts, die kürzlich von der Europäischen Kommission im Rahmen eines Vertragsverletzungsverfahrens gerügt worden sind. Im Hinblick auf die Gleichbehandlung der Geschlechter hat das AGG u.a. folgende Neuerungen mit sich gebracht:

- Mehrere Diskriminierungsverbote. Umstritten ist nach Inkrafttreten des AGG, welchen Rang das Gebot der Gleichbehandlung der Geschlechter im Verhältnis zu anderen Gruppen, insbesondere Behinderten, einnimmt
- Erweiterung des Anwendungsbereichs des Diskriminierungsschutzes
- Unterschreitung des bisherigen Schutzniveaus bei Kündigungen – wurde von der Europäischen Kommission gerügt
- Stärkere Organisationspflichten des Arbeitgebers
- Unterscheidung zwischen verschuldensabhängig ausgestaltetem Schadensersatz (diese Konstruktion wurde von der Europäischen Kommission gerügt) und verschuldensunabhängiger, pauschal zu bemessender Entschädigung
- Ansätze eines kollektiven Rechtschutzes
- Einrichtung von Beschwerdestellen.

Das AGG und dessen Wirkungen im Hinblick auf Frauen sind höchst umstritten [vgl. Nol 08]. Neben grundsätzlich positiven Bewertungen gibt es Kritik, zum einen aus feministischer Perspektive, zum anderen aus Kreisen der Wirtschaft, die besondere Antidiskriminierungsgesetze abzulehnen und eher auf die Strategie des *diversity management* zu setzen scheinen (hierfür sprechen auch die geführten Interviews). Nach eigener Einschätzung ist die Wirkung von Antidiskriminierungsrecht generell erst über längere Zeiträume hin messbar, wenn möglicherweise die Wertungen des Gesetzes in das allgemeine Bewusstsein von Bevölkerung und Wirtschaft eingehen. Bezüglich einer kurzfristigen Wirkung des AGG für die Verbesserung der Position der Frauen fällt die eigene Einschätzung neutral bis vorsichtig positiv aus. Trotz gewisser Schwächen enthält das Gesetz gegenüber dem früheren Recht einige graduelle Verbesserungen für Arbeitnehmerinnen und sonstige Beschäftigte.

Der Beitrag des BEEG zur Herstellung faktischer arbeitsrechtlicher Gleichheit im Geschlechterverhältnis

Kernpunkt des Gesetzes ist die Einführung eines als Lohnersatzleistung fungierenden Elterngeldes anstelle des bisherigen Erziehungsgeldes [vgl. Neb 07]. Das Gesetz zielt u.a. auf eine bessere Sicherung der Teilhabe von Frauen und Männern an Beruf und Familie sowie auf die Forcierung eines partnerschaftlich orientierten Familienmodells ab. Neu im Vergleich zum früheren Recht (BErzG) sind:

- Höhe und Dauer des Elterngeldes. Das als Lohnersatzleistung konzipierte Elterngeld beträgt 67% des bisherigen monatlichen Nettoeinkommens aus Erwerbstätigkeit. Anders als das Erziehungsgeld orientiert sich das Elterngeld am individuellen, nicht am Familieneinkommen. Das bisherige Erziehungsgeld brachte Nachteile für berufstätige Frauen mit sich, die dazu animiert wurden, für längere Zeit (bis zu drei Jahren) dem Arbeitsmarkt fernzubleiben.
- Einführung der sog. Partnermonate (von 12 auf 14 Monate). Dieser ökonomische Anreiz soll die Funktion haben, mehr Väter als bisher zur Inanspruchnahme der Elternzeit zu bewegen.
- Elterngeld und Teilzeitarbeit: Die bereits nach BErzG bestehende Möglichkeit der Teilzeitarbeit während der Inanspruchnahme des Elterngeldes wurde beibehalten und an die neuen finanziellen Bedingungen angepasst. Eine Teilzeit arbeitende, ihr Kind betreuende Person, die nicht mehr als 30 Wochenstunden arbeitet, erhält 67% des bis zur Bemessungsgrenze von 2.700 € entfallenden Einkommens.

Mit der Schaffung des BEEG hat der Gesetzgeber auf ökonomische Anreize gesetzt, um seine Ziele zu erreichen. Zwei Jahre nach Inkrafttreten des Gesetzes scheinen diese Anreize bereits messbare positive Wirkungen zu zeitigen (schwacher Anstieg der Geburtenrate; deutlicher Anstieg des Anteils der Väter, die Elternzeit in Anspruch nehmen). Die bisherigen Informationen deuten auf eine relativ hohe Akzeptanz des Gesetzes in der Wirtschaft hin. Die Vertreter/innen der befragten Unternehmen schätzen das Gesetz positiv bis ambivalent ein. Neben positiven Bewertungen gibt es – sozialpolitisch orientierte – Kritik, die sich im Wesentlichen auf die finanzielle Schlechterstellung eines größeren Teils der Eltern richtet. Nach eigener Einschätzung ist das Gesetz einem wichtigen, selbst gesetzten Teilziel (Erhöhung der Chancengleichheit von – qualifizierten – erwerbstätigen Müttern und Vätern) ein gutes Stück näher gekommen.

Gleichbehandlungspolitik in großen Unternehmen

Die Ergebnisse der Interviews deuten auf gestiegenes Problembewusstsein in Bezug auf die Rekrutierung geeigneten Führungspersonals, insbesondere im Ingenieurbereich, hin. Schon aus diesem Grunde erscheint es sinnvoll, den Frauenanteil in den Unternehmen zu erhöhen. Für bestimmte Tätigkeiten im Ingenieurbereich werden jedoch Grenzen gesehen. In Bezug auf die allgemein praktizierte Personalpolitik weisen die Vertreter/innen beider Unternehmen auf das Vorhandensein einer an den Grundsätzen von Gleichbehandlung und *Diversity* orientierten Personalpolitik schon vor Inkrafttreten des AGG hin. Insbesondere die Deutsche Bahn als ehemaliger Staatsbetrieb kann diesbezüglich auf Konzernbetriebsvereinbarungen zum Thema Vereinbarkeit von Beruf und Familie und Work-Life-Balance, auf ein deutliches Konzept zur Ermöglichung von Teilzeit- und Teleheimarbeit für beide Geschlechter sowie einige gelungene Beispiele der Ausübung von Teilzeitarbeit durch Führungskräfte auf der mittleren Ebene verweisen.

Zusammenfassung

Das BEEG, das Kinderbetreuung durch erwerbstätige Eltern in stärkerem Maße als bisher wirtschaftlich attraktiv macht, hat – deutlich geworden am Anstieg der Zahl der Väter, die bereit sind, Verantwortung für die Betreuung der Kinder zu übernehmen – positive Auswirkungen für die Gleichstellung der Geschlechter im Erwerbsleben. Dass das Gesetz bereits zwei Jahre nach Inkrafttreten relativ erfolgreich ist, scheint eine Bestätigung der ökonomischen Theorie des Rechts zu sein.
Bezüglich der Erzielung positiver Wirkung für Frauen durch das AGG besteht noch Unklarheit. Die Werteentscheidungen des AGG können möglicherweise die Sensibilisierung für auch mittelbare Diskriminierungen im Geschlechterverhältnis in Wirtschaft und Gesellschaft verstärken. Zwar lassen die allgemeinen Statistiken keinen Rückschluss auf einen Rückgang von Einstellungs-, Beförderungs- und Lohnungleichheiten im Verhältnis der Geschlechter zueinander zu, gegenwärtige Entwicklungen im Bereich des Klageverhaltens von Frauen deuten jedoch auf eine höhere Bereitschaft hin, entsprechende Ungleichheiten nicht mehr einfach hinzunehmen.

Literatur

[Jan 05] Janson, G. (2005): Ökonomische Theorie im Recht.

[Dös 07] Döse, A./Stallmann, M. (2005): Worklife-Balance-Erwartungen von Ingenieurstudentinnen, Berichte aus dem FB I der TFH Berlin

[Neb 07] Nebe, K. (2007): Das neue Elterngeld, in: Streit 2007, S. 178 ff.

[Sch 07] Schwarze, B. (2007): Gender und Diversity in Ingenieurwissenschaften und Informatik, in: Dudeck/Jansen/Schulz (Hrsg.), Zukunft Bologna? Gender und Nachhaltigkeit als Leitideen für eine neue Hochschulkultur.

[Nol 08] Nollert-Borasio, Ch. (2008): 2 Jahre AGG – praktische Auswirkungen und notwendige Änderungen, in: AuR 2008, S. 332 ff.

Kontakt

Prof. Dr. Annegret Döse
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 2712
E-Mail: doese@beuth-hochschule.de

Web 2.0-Tools im Medienprojektmanagement – Ein Werkstattbericht

Dipl.-Ing. Joachim Bode, Prof. Dr. phil. Anne König Forschungsschwerpunkt: Web 2.0

Kurzfassung

Kommunikationsprobleme stellen die wesentliche Schwachstelle im Management von Medienprojekten dar [1] [2]. Im Forschungsprojekt 4C for Media wurden deshalb 2008 vier qualitative Experimente [3] durchgeführt, bei denen Teams unter realen Bedingungen Internetprojekte im Kundenauftrag entwickelten und dabei Web 2.0-Tools für das Projektmanagement einsetzten. Es wurde getestet, wie die interne und externe Kommunikation verbessert werden kann.

Erste Ergebnisse des noch bis Herbst 2009 laufenden Projektes sind:

1. Die Akzeptanz des Kunden ist besser als erwartet
2. Klassisches Projektmanagement-Knowhow bleibt entscheidend
3. Die Web 2.0-Tools entfalten ihre Kraft in der Dokumentation und Wiederverwertbarkeit der Ergebnisse in der Übersichtlichkeit der Aufgabenzuordnung
4. Probleme sind:
   - oft (noch?) technischer Natur – und da manchmal ein K.O.-Kriterium
   - Enterprise 2.0 erfordert eine radikale Änderung der Denk- und Arbeitsweise – die auch bei jungen „Digital Natives“ noch nicht immer zu finden ist.

Abstract

Communication problems make up the major weaknesses in the management of media projects [1], [2]. For this reason the research project entitled 4C for Media conducted four experiments under customers' orders [3], in which teams developed internet projects under realistic conditions and thereby employing web 2.0 tools for project management. It was tested how internal and external communication could be improved.

Initial results of the project running until autumn 2009, are as follows:

1. *acceptance by customers is better than anticipated;*
2. *classical project-management knowhow remains decisive;*
3. *web 2.0 tools are developing their ability in the documentation and reusability of the results and in the clarity of the delegation of responsibilities.*
4. *The problems:*
   - *often were of a technical nature, which can sometimes become a K.O. criterion.*
   - *Enterprise 2.0 calls for a radical alteration in the way of thinking and the mode of operation, which still cannot always be found even among young “digital natives”.*

Beschreibung der Experimente

Unter möglichst realen Projektbedingungen wurden vier sogenannte „Collab-Studien“ (von *Collaboration*) durchgeführt. Die Realitätsnähe umfasste die folgenden Faktoren:

- realer Kunde mit hohen Erwartungsanforderungen und wechselnden inhaltlichen und gestalterischen Vorstellungen;
- reale Aufgabenstellung mit definierten Aufwänden (60 h Design, 80 h Programmierung, 80 h Konzeption/Projektmangement [PM]) und definiertem Liefertermin;
- typisches Team aus jeweils drei Studierenden höherer Semester und Absolventen der Studiengänge Druck- und Medientechnik und Medieninformatik der TFH Berlin mit typischer Kompetenzverteilung (Design, Programmierung, Konzeption und PM).

Um die Chancen und Grenzen der Web 2.0-Tools vertieft zu testen, durfte nur der Kick-off-Termin Face-to-Face stattfinden. Die weitere Projektkommunikation unterlag einer strengen Reduktion [3] auf die Nutzung der auf einer Kollaborationsplattform bereitgestellten Online-Tools. Ziel war es, das jeweils von den Teams gewählte Kommunikationsverhalten zu analysieren, um daraus Rückschlüsse auf die Potentiale von Web 2.0-Tools zur

Verbesserung des Medienprojektmangements zu ziehen. Von den vier Collab-Studien sind bisher zwei für den Kunden zufriedenstellend online geschaltet.

Web 2.0-Tools für das Management von Medienprojekten

Bei den Collab-Studien wird bewusst eine Kombination verschiedener Instrumente eingesetzt, da die Stärke von Social Software gerade in ihrer Modularität besteht. Die Verknüpfungen der Module erfolgen durch Links und RSS-Feeds. Erst die daraus resultierende Anpassbarkeit führt im Laufe der Zeit zu großer Aufgabenangemessenheit und Individualisierbarkeit.

Abb. 1: Blick in die Projektmangementseite der laufenden Collab-Studie 3, Gruppe 2

Für die Collab-Studien kamen folgende Tools zum Einsatz (vgl. auch Abb. 1):

- *Blogs* zwingen – im klassischen Sinne eines Projekttagebuches zur regelmäßigen Berichterstattung und bieten dann eine Übersicht über den zeitlichen Ablauf. Sie sollten auf tiefer gehende Informationen in den anderen Systemen verlinken. Zusätzlich zur Dokumentation erleichtern sie einen Überblick für nur gelegentlich involvierte Stakeholder.
- *Wikis* bieten eine inhaltlich strukturierte Sicht auf das Projekt. In den Collab-Projekten werden Wikis insbesondere für die Konzeptentwicklung eingesetzt.
- *Bugtracking Systeme* (hier: Mantis) wurden entwickelt, damit die Nutzer neuer Software auftretende Fehler (»Bugs«) an die Hersteller melden können. Sie bieten eine gute Möglichkeit, den Weg eines Problems in der internen und externen Kommunikation zu verfolgen.
- *Zeiterfassungssysteme* (hier: mite von yo.lk) erleichtern das Kostenmanagement.
- *Videokommunikation* (hier: Adobe Connect) ist ein unverzichtbarer Austauschkanal, mit dem Statusmeetings abgehalten und Probleme schnell geklärt werden können. Das Manko der mangelnden Dokumentation kann durch Anpassung der Tools aufgehoben werden, wie im Weiteren gezeigt wird.

Anpassung der Tools

Das Problem mangelnder Dokumentation ist eines der Beispiele, an dem die erwähnte Weiterentwicklung der Tools zur besseren Aufgabenangemessenheit gut erläutert werden kann. In der Videokommunikation kann das Protokoll während des Meetings in einem Chat-Fenster gemeinsam erstellt werden. Der Zusatzaufwand der Umwandlung des Chats in ein Protokoll konnte durch ein von uns programmiertes Modul, dem sog.

„Protokoll-Formatierer“, reduziert werden. Das Chat-Protokoll wird in das Wiki „geparst“. Außerdem werde halbautomatisch Seiten für Zusammenfassungen und Tasklisten erstellt, Schlagworte vorgeschlagen und die Anwesenheitsliste vervollständigt. Beschlüsse und Aufgabenlisten können aus den Protokollen herausgefiltert werden und sind dadurch automatisch auswertbar.

Bisherige Erkenntnisse

Hohe Kundenakzeptanz

Da bei den Kunden der Adhoc-Stichprobe keine Erfahrungen mit Blogs, Wikis oder Videokonferenzen vorlagen, erwarteten wir hier erhebliche Akzeptanzprobleme. Diese traten in keinem Fall ein. Selbst die Erstinstallation von Web-Cams und Headsets war fast problemlos, und die Bereitschaft des Kunden, sich an die im Experiment vorgegebenen Regeln zu halten war größer als bei manchen der Teammitglieder.

Problematisch war hingegen in einem Fall das technische Verständnis: In einem Projekt diskutierte der Kundenprojektleiter während mehrerer Videokonferenzen den Designentwurf anhand eines wochenalten PDF-Entwurfes, während die Teammitglieder davon ausgingen, dass er sich auf die online verfügbare Version auf dem Testserver bezog.

„Alte“ Projekmanagmenttugenden bleiben die entscheidenden Erfolgsfaktoren

Das „magische Dreieck“ des Projektmanagements – die Notwendigkeit, die Einfussfaktoren Qualität, Zeit und Kosten in Einklang zu bringen – bleibt auch bei einem verbesserten Kommunikationsmanagement bestehen. Als besonders kritisch werden folgende „klassische“ Fehler im Projektmanagement gesehen:

- Der Projektauftrag auf Basis des Briefings wird nicht zeitnah fertig gestellt und mit dem Kunden abschließend verhandelt. Dadurch sind Nachforderungen vorprogrammiert.
- Es wird kein klarer Zeitplan kommuniziert und in regelmäßigen Statusmeetings mit dem Vorgesetzten kontrolliert.
- Der Kunde wird nicht regelmäßig über den Projektfortschritt informiert.

Die Kraft der Web 2.0-Tools

Bereits in dieser Phase der Untersuchung kann festgestellt werden: Es ist möglich, *in time, in budget and in quality* mit Hilfe nur eines einmaligen persönlichen Treffens erfolgreich Medienprojekte umzusetzen. Und: alle Beteiligten würden diese Form der Kommunikation auch bei Folgeprojekten begrüßen – wenn die erkannten Probleme beseitigt würden.

Verbesserungen im Management von Medienprojekten durch die Nutzung von Web 2.0-Tools sind aus bisheriger Sicht hauptsächlich in folgenden Feldern festzustellen:

- Leichtere Durchführung von Statusmeetings, da nicht alle Beteiligten an einem Ort sein müssen.
- Leichteres „Reinkommen“ in den Arbeitsprozess durch Nachlesen der letzten Aktivitäten für nicht ständig am Projekt arbeitende Teammitglieder (betrifft insbesondere die Designer).
- Zeitersparnis im Kommunikationsaufwand:
    - durch paralleles und kollektives Protokollieren, ggf. unterstützt durch den im Projekt entwickelten Protokollgenerator;
    - durch die zentrale Dokumentation, da dadurch kein Projektmitglied eigene Ordnerstrukturen entwickeln muss, unterstützt durch Suchfunktionen und Tagging;
    - durch die leichte Integration weiterer arbeitserleichternder, ggf. die Mobilkommunikation integrierender Softwarehilfsmittel in die offene Kollaborationsplattform (z.B. Twitter, rememberthemilk.com, doodle.ch u.a.m.).
- Nutzung der Dokumentationen für Folgeaufträge.

Verbesserungsmöglichkeiten liegen im technischen Bereich und im Bereich der Anpassung an die neue Form der Kommunikation.

Technische Verbesserungen:

- Übersichtliche Anordnung der verschiedenen Tools auf der Plattform
- Single Sign In
- Ergänzung der RSS-Feedfunktion mit E-Mail-Push für den Kunden, da dieser oft die klassische E-Mail-Kommunikation bevorzugt und dann die Feedfunktion nicht nutzt
- Integration eines Tools zur Erleichterung von kurzfristigen Terminvereinbarungen.

Veränderungen der Denk- und Arbeitsweise

Bei der Durchführung fällt immer wieder auf, dass Teammitglieder versuchen, mit den neuen Werkzeugen genau so weiter zu arbeiten, wie vorher mit Stift und Papier. Unter Experten besteht jedoch Konsens, dass eine erfolgreiche Adaption von „Enterprise 2.0“ nur dann funktionieren kann, wenn sich auch die Unternehmenskultur ändert. Das gilt auch für die Projektkultur.

In den Studien wurde mehrfach der Eindruck gewonnen, dass selbst Prinzipien des Web 2.0, die den Teilnehmern bekannt waren, nicht umgesetzt wurden. Ein Beispiel sind die Aussagen mehrerer Mitglieder einer Versuchsgruppe, sie hätten im Blog jeweils nur die letzten „Postings“ (Einträge) genutzt, da das Blog im Ganzen „unübersichtlich“ sei. Auf die Frage, ob sie denn Tags benutzt hätten, wie sie es bei der Einführungsveranstaltung gezeigt bekommen hatten, antworteten sie mit „Nein“. Im Weiteren stellte sich heraus, dass sie Tagging sogar in anderen Anwendungen regelmäßig nutzten. Trotzdem räumten sie ein, den Zusammenhang zwischen Tagging und Übersichtlichkeit (durch automatische Sortierung) in diesem Fall nicht erkannt zu haben, obwohl sie ihn sinnvoll fanden. Diese mangelnde Verinnerlichung eines der wichtigsten Web-2.0-Prinzipien zeigt, dass Aussagen zum Nutzen von Enterprise 2.0 erst gefällt werden können, wenn der (sehr lange) Lernprozess weiter fortgeschritten ist. Gerade diese Änderungen der Denkweise machen das Neue an Enterprise 2.0 aus.

Literatur

[1] Bode, Joachim; Joswig, Björn; König, Anne (2007): 4C for Media – Projektmanagement für Produzenten von interaktiven, digitalen Online-Medien. In: Thümer, Reinhard; Görlitz, Gudrun (Hrsg.): Forschungsbericht 2007, S. 39.

[2] Engel, Claus; Tamdjidi, Alexander; Quadejacob, Nils (2009): Ergebnisse der Projektmanagementstudie 2008. Online im Internet: http://www.gpm-ipma.de/ download/ Ergebnisse_Erfolg_und_Scheitern-Studie_2008.pdf, Folie 8 [28. 09. 2009].

[3] Das qualitative Experiment wird beschrieben unter: Lamnek, Siegfried (1995): Qualitative Sozialforschung Band 2 Methoden und Techniken. 3., korrigierte Auflage. Weinheim: Psychologie Verlags Union, S. 324 ff.

Kontakt

Prof. Dr. phil. Anne König
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 5252
E-Mail: akoenig@beuth-hochschule.de

Dipl.-Ing. Joachim Bode
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 5243
E-Mail: jbode@beuth-hochschule.de

Die Betriebswahl im Prozess der Berufseinmündung im dualen System der Berufsausbildung

Prof. Dr. phil. Matthias Schmidt, Christoph Schank
Forschungsschwerpunkt: Werteorientierte Unternehmensführung

Kurzfassung

Der Entscheidung von Ausbildungsplatzbewerbern für den ausbildenden Betrieb kommt im sich zuspitzenden Wettbewerb um gut qualifizierte Fachkräfte eine immer zentralere Bedeutung zu. In Form einer repräsentativen Fragebogenerhebung und begleitenden Interviews wurden Auszubildende retrospektiv zu ihren Such- und Bewerbungsstrategien, sowie ihren Präferenzen für bestimmte Unternehmensgrößen befragt. Die Resultate deuten auf verschiedene Bewerbertypen und unterschiedliche Stärken und Schwächen verschieden großer Ausbildungsunternehmen hin.

Abstract

In the light of declining talent availability, the apprentices' choice for the apprenticing company becomes more important. On the basis of a questionnaire and interviews, apprentices were asked in retrospective about their search and job application strategies, as well as their preferences for different company sizes. The results imply various types of apprentices and different strengths and weaknesses of companies, depending on their size.

Forschungsleitung

Das duale System der Berufsausbildung bringt den Grundstock einer hoch qualifizierten Facharbeiterschaft hervor und garantiert daran partizipierenden Unternehmen ein nachhaltig hohes Qualifikationsniveau ihrer Mitarbeiter. Gleichzeitig strukturiert es für einen Großteil der Alterskohorte den Übergang in die Erwerbstätigkeit vor und übt durch seine Berufszuweisung eine identitätsstiftende Funktion aus. Trotz leichter Entspannungstendenzen befindet sich das System noch immer in einer Krise, die sich durch eine regionalspezifisch ungünstige Angebot-Nachfrage-Relation auszeichnet [Ebe 06]. Obwohl vielerorts noch ein Mangel an Ausbildungsplätzen attestiert werden kann, verknappt sich das Angebot insbesondere an leistungsfähigen und hochmotivierten Ausbildungsplatzbewerbern [Sch 08]. Besonders betroffen zeigen sich von dieser Entwicklung kleine und mittlere Unternehmen, für welche sich angesichts eines demografisch bedingten fortschreitenden Rückganges an Ausbildungsplatzbewerbern bereits heute ein Fachkräftemangel abzeichnet. Das Anliegen des Forschungsprojektes ist damit ein multifokales und berücksichtigt sowohl die Personalbeschaffung der Unternehmen, als auch die Übergangserfahrungen der Ausbildungsplatzbewerber. An dieser Stelle soll sich die Erörterung aber auf zwei Kernaspekte konzentrieren:

- Der Prozess der Einmündung in einen betrieblichen Ausbildungsplatz wird hinsichtlich seiner durch die Ausbildungsplatzbewerber vorgenommen Hierarchisierung und Strukturierung untersucht.
- Das Attraktionspotential kleiner und mittlerer Unternehmen wird in einem multidimensionalen Design erhoben.

Methodik der Datengewinnung

Dem Erhebungsdesign liegt ein sowohl qualitatives als auch quantitatives Vorgehen vor. Für ein stärker explorativ ausgerichtetes qualitatives Vorgehen (problemzentrierte Leitfrageninterviews mit biografischen Teilelementen) wurde eine Stichprobe von 20 Auszubildenden im ersten Ausbildungsjahr gezogen. Daran schloss ein quantitatives Vorgehen in Form einer Fragebogenerhebung an. Diese Erhebung wurde an 18 Berufsschulen in der West-und der Vorderpfalz (rheinland-pfälzische Region mit den Oberzentren Kaiserslautern und Ludwigshafen) durchgeführt. Die West-und die Vorderpfalz sind wirtschaftsstrukturell heterogen zu nennen. Während die Vorderpfalz als linksrheinische Teilregion der Metropolregion Rhein-Neckar als wirtschaftsstark gilt, ist die peripherer gelegene Westpfalz als strukturschwach zu bezeichnen. Mit 4527 in die Auswertung eingegangenen Fragebögen konnte eine Nettorücklaufquote von 52,9% erzielt werden. Aus dem methodischen Vorgehen resultiert eine Repräsentativität der Studie für die Region der Pfalz und den Ausbildungsjahrgang 2007/2008.

Zentrale Ergebnisse

Die Betriebswahl im Prozess der Berufseinmündung

Die klassische Berufswahlforschung stellt auf eine Priorisierung der Berufswahl ab und ordnet der Betriebswahl eine davon abhängige, auf jeden Fall aber nachgelagerte Bedeutung zu. Aus den explorativ-qualitativen Gesprächen geht jedoch hervor, dass nicht in jedem Fall eine Orientierung am Beruf stattfindet. Vielmehr ist von verschiedenen Bewerbertypen auszugehen, die in Abhängigkeit von ihrem individuellen Präferenzsystem und ihrer Kontrollüberzeugung am Ausbildungsmarkt unterschiedliche Zielstellungen realisieren wollen. Abb. 1 verdeutlich die theoretisch-empirisch abgeleiteten Bewerbertypen, Abb. 2 gibt deren Verteilung in der quantitativen Erhebung an.

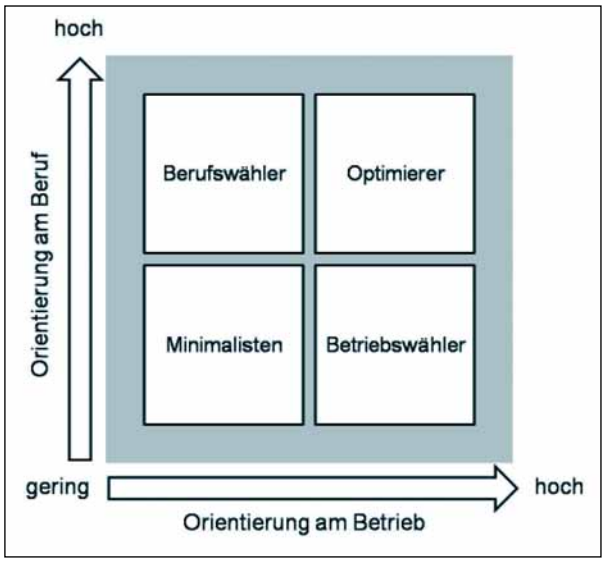


Abb. 1: Bewerbertypenmatrix

Abb. 2: Verteilung der Typen in %

Optimierer zeichnen sich durch eine hohe Kontroll- und Gestaltungsüberzeugung aus. Es handelt sich hierbei zumeist um Bewerber mit einem hohen oder zumindest mittleren Schulabschluss und guten bis sehr guten schulischen Fachleistungen. Altbewerber sind in dieser Gruppe kaum aufzufinden. Optimierer selektieren die von ihnen beworbenen Unternehmen sowohl nach dem angebotenen Berufsbild, als auch nach der Attraktivität des Unternehmens. **Berufswähler** und **Betriebswähler** verfügen überwiegend über einen mittleren Bildungsabschluss und legen eine mittlere Kontrollund Gestaltungsüberzeugung an den Tag. Während Berufswähler ihre Such-und Bewerbungsaktivitäten einzig nach dem Berufsbild strukturieren, zielen Betriebswähler auf bestimmte Unternehmen bzw. Klassen von Unternehmen ab, wohingegen sie sich bei der Wahl ihres Berufsbildes flexibel zeigen. **Minimalisten** verfügen nur über eine geringe Kontrollüberzeugung, sehen sich durch die Rahmenbedingungen vielfach determiniert und sind zu großen Abstrichen in ihren Präferenz bereit (10,9%), oder gar bereit jede Alternative anzunehmen, die überhaupt eine Partizipation am Ausbildungssystem ermöglicht (14,3%).

Attraktionspotenzial verschieden großer Unternehmen

Die Unternehmensgröße fungiert für die Ausbildungsplatzbewerber als ein Vehikel für qualitative Merkmale und stellt nur selten einen Selbstzweck dar. Die Größeneinteilung orientiert sich an der Empfehlung der Europäischen Kommission [Eur 06], wobei mit „sehr großen Unternehmen“ (ab 5.000 Mitarbeiter) eine zusätzliche Klasse einbezogen wurde. Abb. 3 verdeutlicht die spürbare Korrelation der Bewertungen mit der Unternehmensgröße, für die meisten abgefragten Items kann ein linearer Zusammenhang bescheinigt werden. Eine zuvor durchgeführte faktorenanalytische Untersuchung hat vier dominierende Wertehaltungen der Befragten ergeben. Die **Aufstiegs-und Zukunftsorientierten** gewichten vordergründig Entwicklungskriterien wie die Übernahme-, Weiterbildungs- und Karrieremöglichkeiten, aber auch die Vereinbarkeit von Beruf und Familie sehr hoch und tendieren zumeist hin zu großen Unternehmen. Ebenso verhält es sich mit den **Freizeitorientierten**, für welche eher außerberufliche Merkmale wie das zur Verfügung stehende Einkommen, eine Ausbildung mit Gleichaltrigen und Bekannten, das Ansehen des Unternehmens und eine möglichst geringe Arbeitsbelastung im Vordergrund stehen. Auf allen diesen Feldern können große Unternehmen Vorzüge gegenüber kleinen und mittleren realisieren, gut dokumentiert ist dies besonders für die Arbeitsbelastung und

das Ausbildungsentgelt [Qua 08]. Eine dritte Gruppe der **Tätigkeitsorientierten** bevorzugt eine vielseitige, teamorientierte und gelegentlich auch internationale Ausbildung, welche sich ebenso in größeren Unternehmen eher realisierten lässt. Einzig die vierte Gruppe der **Wohlfühlorientierten** zielt aufgrund der starken Präferenz für ein intaktes Arbeits-und Betriebsklima sowie einer persönlichen, ganzheitlichen Betreuung stärker auf kleine und mittlere Unternehmen ab. Es lässt sich feststellen, dass die wahrgenommenen Vorzüge großer und sehr großer Unternehmen vielschichtiger ausfallen, jedoch besonders kleine Unternehmen sehr stark von den Erwartungen an ein gutes Arbeits- und Betriebsklima profitieren. Hinsichtlich der eigentlichen Qualität der Ausbildung vermögen die Befragten keine substantiellen Diskrepanzen zu erkennen.

Qualität der Ausbildung	2,37	2,37	2,30	**2,29**
Arbeits-und Betriebsklima	**1,89**	2,27	2,71	2,92
Übernahmemöglichkeiten	2,90	2,70	2,46	**2,31**
Weiterbildungsmöglichkeiten	3,32	3,32	2,05	**1,67**
Vereinbarkeit von Beruf und Familie	**2,26**	2,50	2,78	2,89
Selbstverwirklichungspotential	**2,62**	2,69	2,81	2,85
Karriere-und Entwicklungsmöglichkeiten	3,58	2,90	2,19	**1,81**

Abb. 3: Ausgesuchte Merkmale und ihre Mittelwerte (in Schulnoten)

Schlussfolgerung

Die empirisch gewonnenen Resultate lassen den Schluss zu, dass der Wahl des geeigneten Ausbildungsbetriebes in der bisherigen Berufswahlforschung und Berufsberatung ein zu geringer Stellenwert eingeräumt wird. Dennoch ist die Wahl des Betriebes, zumal bezogen auf die Unternehmensgröße, für die Ausbildungsplatzbewerber keine grundsätzlich freie, da:

- kleine und mittlere Unternehmen auf den Ausbildungsmärkten in quantitativer Hinsicht deutlich dominieren,
- die regionale Mobilitätsbereitschaft eher gering ausfällt und der Alternativenpool damit durch die örtlichen Gelegenheitsstrukturen determiniert wird, und sich eine Reihe von Berufen einzig in Unternehmen einer bestimmten Größenordnung überhaupt realisieren lassen (Handwerk, haushaltsnahe Dienstleistungen etc.).

Der sich verschärfende Wettbewerb zwischen kleinen und mittleren auf der einen und großen Unternehmen auf der anderen Seite wird sich daher bevorzugt auf Ballungsräume und auf ausgesuchte Berufsfelder erstrecken. Es steht zu befürchten, dass sich die Position gerade von produzierenden und technologieintensiven mittleren Unternehmen im demografischen Wandel (weiter) verschlechtern wird.

Literatur

Ausführliche Dokumentation der Studie:

- Schank, C. (2008): Wege in die betriebliche Ausbildung. Wie Jugendliche ihren Ausbildungsbetrieb wählen. Eine empirische Untersuchung in der Pfalz. Kassel.

Betreute Abschlussarbeit zur Thematik:

- Behr, F.; Bluschke, B.-U. (2008): Übergänge in den Ausbildungsberuf – Eine Betrachtung von Problemen und Methoden an der ersten Schwelle zum Berufseinstieg.

[Ebe 06] Eberhard, V.; Krewerth, A./ Ulrich, J.G. (Hrsg.) (2006): Mangelware Lehrstelle. Zur aktuellen Lage der Ausbildungsplatzbewerber in Deutschland. Bonn.

[Eur 06] Europäische Kommission (2006): Die neue KMU-Definition. Benutzerhandbuch und Mustererklärung.

[Qua 08] Quante-Brandt, E.; Grabow, T. (2008): Die Sicht von Auszubildenden auf die Qualität ihrer Ausbildungsbedingungen. Bonn.

[Sch 08] Schank, C.; Schmidt, M. (Hrsg.) (2008): Demografie und Arbeit. Analysen, Prognosen und Best Practice aus Rheinland-Pfalz. Kassel.

Kontakt

Prof. Dr. phil. Matthias Schmidt
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 5247
E-Mail: mschmidt@beuth-hochschule.de

Christoph Schank
Institut für werteorientierte Unternehmensführung
Bismarckring 18
65183 Wiesbaden
E-Mail: schank@werteorientierteunternehmens-fuehrung.de

Kooperation

Die Durchführung des Forschungsprojektes und der Studie erfolgte in Kooperation mit dem Institut für werteorientierte Unternehmensführung (IWU) (Berlin und Kaiserslautern).

Kooperationspartner im Projektverbund

- Ministerium für Bildung, Wissenschaft, Jugend und Kultur Rheinland-Pfalz (Mainz)
- Industrie- und Handwerkskammer der Pfalz (Ludwigshafen)
- Handwerkskammer der Pfalz (Kaiserslautern)
- Karl-Otto-Braun GmbH & Co. KG (Wolfstein)
- Evangelische Akademie der Pfalz (Speyer)
- Stiftung Wertevolle Zukunft (Hamburg)

Investitionsbank
210 x 148 4C

Platzierung
weit vorn
rechte Seite

Maximum principle and some uniqueness results for the generalized time-fractional diffusion equation

Prof. Dr. Yury Luchko Forschungsschwerpunkt: Differentialgleichungen nicht ganzzahliger Ordnung

Kurzfassung

Im vorliegenden Bericht wird ein Maximums-Prinzip für die verallgemeinerte Zeit-fraktionelle Diffusionsgleichung auf einem offenen beschränkten Gebiet $G\times(0,T), G\subset R^n$ formuliert. Das Prinzip wird angewandt, um die Eindeutigkeit der Lösung eines Anfangs- und Randwertproblems für die verallgemeinerte Zeit-fraktionelle Diffusionsgleichung zu zeigen. Des Weiteren garantiert das Maximums-Prinzip die Stetigkeit der Lösung in Bezug auf die Anfangs- und Randbedingungen.

Abstract

In the report, a maximum principle for the generalized time-fractional diffusion equation over an open bounded domain $G\times(0,T), G\subset R^n$ is formulated. The maximum principle is then applied to show that the initial-boundary-value problem for the generalized time-fractional diffusion equation possesses at most one classical solution. This solution depends continuously on the initial and boundary conditions.

Introduction

The theory of the derivatives and integrals of a non-integer (fractional) order called *Fractional Calculus* becomes increasingly more important for applications. Both the ordinary and the partial differential equations of fractional order have been used within the last few decades for modeling of many physical and chemical processes and in engineering (see e.g. [Fre 02], [Hil 00], [Met 00] and references there).
As to the mathematical theory of the differential equations of fractional order, mainly the initial-value problems for these equations were considered until now. For the methods of solution of such problems we refer the reader to e.g. [Mai 01]. The boundary-value or initial-boundary-value problems were mainly investigated for the case of one spatial variable and/or for the case of the constant coefficients (see [Luc 09] for an overview of the literature and for more detailed discussions of the results presented here).

Maximum principle and the uniqueness of the solution

In the report, the generalized time-fractional diffusion equation is considered. This equation is obtained from the classical diffusion equation by replacing the first-order time derivative by a fractional derivative of the order α $(0<\alpha\le 1)$ and the second-order spatial derivative by a more general second-order differential operator:

$$(D_t^{\alpha}u)(t)=L(u)+F(x,t), \qquad (1)$$

$$0<\alpha\le 1,(x,t)\in\Omega_T:=G\times(0,T), G\subset R^n,$$

where

$$L(u):=div(p(x)\,grad\,u)-q(x)u,$$

$$p\in C^1(\overline{G}),q\in C(\overline{G}),\ p(x)>0,q(x)\ge 0,x\in\overline{G}, \qquad (2)$$

the fractional derivative is defined in the Caputo-Dzherbashyan sense

$$(D^{\alpha}f)(t):=(I^{1-\alpha}f')(t),0<\alpha\le 1, \qquad (3)$$

I^{α} being the fractional Riemann-Liouville integral

$$(I^{\alpha} f)(t) := \begin{cases} \dfrac{1}{\Gamma(\alpha)} \displaystyle\int_0^t (t-\tau)^{\alpha-1} f(\tau) d\tau, & 0 < \alpha < 1, \\ f(t), & \alpha = 0, \end{cases}$$

and the domain G with the boundary S is open and bounded in R^n.
If $\alpha = 1$, the equation (1) coincides with the linear second-order parabolic partial differential equation. The theory of this equation is very well known, so that we focus in the further discussions on the case $0 < \alpha < 1$.
The equation (1) possesses in general an infinite number of solutions. In the real world situations that are modeled with the equation (1), certain conditions that describe the initial state of the corresponding process and the observations of its visible parts ensure the deterministic character of the process. In the report, the initial-boundary-value problem

$$u|_{t=0} = u_0(x), \; x \in \overline{G}, \tag{4}$$

$$u|_S = v(x,t), \; (x,t) \in S \times [0,T] \tag{5}$$

for the equation (1) is considered. Here S denotes as usual the boundary of the domain G and $\overline{G}$ its closure.
The maximum principle for the generalized time-fractional diffusion equation (1) is given by the following theorem:

Theorem 1. *Let a function u be a solution of the generalized time-fractional diffusion equation (1) in the domain Ω_T and $F(x,t) \le 0, (x,t) \in \Omega_T$.*
Then either $u(x,t) \le 0, (x,t) \in \Omega_T$ or the function u attains its positive maximum on the bottom or back-side parts $S_G^T := (\overline{G} \times \{0\}) \cup (S \times [0,T])$ of the boundary of the domain Ω_T, i.e.,

$$u(x,t) \le \max\{0, \max_{(x,t) \in S_G^T} u(x,t)\}, \quad \forall (x,t) \in \overline{\Omega}_T. \tag{6}$$

The maximum principle can be applied to show that the problem (1), (4)-(5) possesses at most one classical solution and this solution - if it exists - continuously depends on the data given in the problem.

Theorem 2. *The problem (1), (4)-(5) possesses at most one classical solution. This solution continuously depends on the data given in the problem in the sense that if*

$$\| F - \widetilde{F} \|_{C(\overline{\Omega}_T)} \le \varepsilon,$$

$$\| u_0 - \widetilde{u}_0 \|_{C(\overline{G})} \le \varepsilon_0, \| v - \widetilde{v} \|_{C(S \times [0,T])} \le \varepsilon_1,$$

then the estimate

$$\| u - \widetilde{u} \|_{C(\overline{\Omega}_T)} \le \max\{\varepsilon_0, \varepsilon_1\} + \frac{T^{\alpha}}{\Gamma(1+\alpha)} \varepsilon \tag{7}$$

for the corresponding classical solutions u and $\widetilde{u}$ holds true.

Conclusion

In the report, the time-fractional analog (with order of fractional differentiation between zero and one) of the maximum principle for spatially multi-dimensional linear parabolic differential equations with non-constant coefficients and a source term is stated. Like in the case of the linear second-order parabolic partial differential equations, the maximum principle for the generalized time-fractional diffusion equations plays an outstanding role in the theory of these equations. In particular, it is applied to show that the initial-boundary-value problem for the generalized time-fractional diffusion equation possesses at most one classical solution and this solution continuously depends on the initial and boundary conditions, and the source term.

Literature

[Fre 02] A. Freed; K. Diethelm, Yu. Luchko (2002): Fractional-order viscoelasticity (FOV): Constitutive development using the fractional calculus. First annual report, NASA/TM 2002-211914, NASA's Glenn Research Center, Brook Rark, Ohio, December 2002.

[Hil 00] R. Hilfer (Ed.) (2000): Applications of Fractional Calculus in Physics. World Scientific, Singapore.

[Luc 09] Yu. Luchko (2009): Maximum principle for the generalized time-fractional diffusion equation. Journal of Mathematical Analysis and Applications 351, 218-223.

[Mai 01] F. Mainardi; Yu. Luchko; G. Pagnini (2001): The fundamental solution of the space-time fractional diffusion equation. Fractional Calculus and Applied Analysis 4, 153-192.

[Met 00] Metzler, R.; J. Klafter (2000): The random walk's guide to anomalous diffusion: a fractional dynamics approach. Physics Reports 339, 1-77.

Contact

Prof. Dr. Yury Luchko
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 5295
E-Mail: luchko@beuth-hochschule.de

In der Kürze liegt die Würze – das kurze Foucault-Pendel

Prof. Dr. Wolfgang Vollmann, Dipl.-Ing. (FH) Jürgen Landskron, Harald Gerullis
Forschungsschwerpunkt: Physikalische Messtechnik

Kurzfassung
Nach dem Beweis der Erdrotation durch Foucault über die kontinuierliche Drehung der Schwingungsebene eines 67 m langen Fadenpendels ist dieser Effekt auch an kurzen Pendeln demonstriert worden. Die dabei zu überwindenden Schwierigkeiten sind ungleich höher. Der vorliegende Artikel beschreibt die Entwicklung, die grundsätzlichen Probleme und die Lösungen des „TFH-Pendels“.

Abstract
After the proof of earth rotation by Foucault, who demonstrated a continuous rotation of the plane of an oscillating pendulum of 67 m length, this effect has also been realized with short pendula. The difficulties which have to be overcome using short pendula are considerably higher. The present article describes the development, the fundamental problems and the solutions of the „TFH pendulum“.

Einleitung

Die intuitive Vorstellung der Menschheit war, dass die Erde ruht und dass Sonne, Mond und Sterne die Erde einmal am Tag umkreisen. Dass sich stattdessen die Erde um eine Achse dreht, wurde eindrucksvoll von dem französischen Physiker Foucault bewiesen. Er ließ 1851 im Pantheon in Paris eine schwere Metallkugel an einem 67 m langen Faden pendeln. Bei einer ruhenden Erde müsste die Schwingungsebene des Pendels, die durch das Anstoßen des Pendels festgelegt wird, raumfest bestehen bleiben. Stattdessen wurde eine langsame, kontinuierliche Drehung der Schwingungsebene beobachtet. Drehsinn und Winkelgeschwindigkeit entsprachen exakt der Vorhersage, die man aus der Annahme einer Erdrotation herleiten kann. An den Polen würde man die maximale Winkelgeschwindigkeit von 360° in 24 Stunden (also 15° pro Stunde) messen; bei der geographischen Breite φ erwartet man die Winkelgeschwindigkeit

$$\omega_F = \sin(\varphi) \cdot 15\ °/h. \qquad (1)$$

Das Experiment von Foucault ist wegen seiner Schönheit und Bedeutung an vielen Plätzen in der Welt nachgestellt worden. Dabei kam der Wunsch auf, den Effekt auch an kurzen Pendeln zu demonstrieren. Der vorliegende Artikel beschreibt die Entwicklung eines kurzen Foucault-Pendels, das seit 2004 alljährlich bei der Langen Nacht der Wissenschaften in der TFH vorgeführt wurde.

Erste Versuche

Die Zeit T_0, die ein Fadenpendel für eine einzige Schwingung benötigt, lautet

$$T_0 = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}}\ , \qquad (2)$$

dabei ist l die Pendellänge und g die Erdbeschleunigung. Lange Pendel haben also eine größere Periodendauer T_0 als kurze Pendel. Ein 4 m langes (schon ein kurzes) Pendel hat eine Periodendauer von 4 Sekunden, während das 67 m lange Pendel von Foucault eine Periodendauer von 16 Sekunden aufweist. Wegen der daraus resultierenden niedrigen Geschwindigkeit stört die unvermeidbare Luftreibung bei langen Pendeln deutlich weniger als bei den kurzen Pendeln. Lange Pendel gestatten eine Beobachtung über viele Stunden, wohingegen kurze Pendel für eine sinnvoll lange Beobachtung angetrieben werden müssen.

Zunächst wurde folgendes System realisiert: eine an einem Faden hängende Kugelstoßkugel (Eisen) wird über eine Spule, die mittig unterhalb des Pendels steht, magnetisch angezogen. Dazu wird vor dem Nulldurchgang des Pendels ein Strom durch die Spule geschickt, der beim Nulldurchgang des Pendels wieder abgeschaltet wird. Der Nulldurchgang wird mit einer Hilfsspule per Induktion detektiert.

Es war nun möglich, das Pendel beliebig lange pendeln zu lassen. Nur das gewünschte Resultat – die aufgrund der Erdrotation erwartete kontinuierliche Drehung der Schwingungsebene – wollte sich nicht einstellen. Die Schwingungsebene drehte sich mal im richtigen, mal im falschen Drehsinn, mal zu schnell, mal zu langsam oder gar nicht. Offensichtliche Störfaktoren wie eine nicht perfekte Rotationssymmetrie von Aufhängung und Antrieb beseitigten wir sofort. So ersetzten wir die quadratischen Spulen mit quadratischem Transformatorkern durch selbst gewickelte Rundspulen mit zylindrischem Eisenkern. Von der gusseisernen und damit magnetischen Heizung entfernten wir das Pendel durch die Wahl eines günstigeren Aufhängungspunktes. Diese Maßnahmen halfen nicht.

Ursache der Probleme

Mit dem bloßen Auge war zu erkennen, dass die Pendelmasse bei einer Hin- und Herbewegung eine schmale Ellipse beschreibt. Äußere und innere Störungen leiten nämlich aus einer idealen Schwingung, die in einer Ebene erfolgt, stets etwas Energie in die dazu senkrecht orientierte Schwingung um: das Resultat ist immer eine elliptische Bewegung der Pendelmasse. Dass diese zunächst für harmlos gehaltene Bewegung ein fundamentales Problem der kurzen Foucault-Pendel darstellt, haben wir einem ausgezeichneten Artikel von Szostak [Szo 02] entnommen. Dort ist dargestellt, dass sich bei einer elliptischen Pendelbewegung die Orientierung der Ellipse im Raum zwangsläufig und unabhängig von der Erdrotation verdrehen muss. Dies macht man sich wie folgt plausibel. Die elliptische Bewegung kann als gleichzeitige Ausführung einer erwünschten Schwingung und einer dazu senkrecht orientierten, unerwünschten Schwingung kleiner Amplitude gedeutet werden. Beide Schwingungen sollten nach Gleichung (2) dieselbe Periodendauer haben. Gleichung (2) gilt jedoch nur für Fadenpendel, die mit kleiner Amplitude schwingen. Für größere Amplituden gilt

$$T = T_0 \cdot [1 + (1/16) \cdot (A / l)^2]. \qquad (3)$$

Dabei ist A die Amplitude der Pendelschwingung und l wiederum die Pendellänge. Nach Gleichung (3) benötigt die erwünschte Schwingung (größere Amplitude) für eine Periode die Zeit T und damit mehr Zeit als die unerwünschte Schwingung (kleine Amplitude), die lediglich die Zeit T_0 benötigt. Wenn also die erwünschte Schwingung eine vollständige Periode T durchlaufen hat und z.B. wieder an einer Maximalauslenkung angekommen ist, hat die unerwünschte Schwingung schon mit ihrer nächsten Periode begonnen. Dies zieht die Maximalauslenkung im Raum an eine neue Stelle (siehe Abb. 1). Dabei sind der Drehsinn des Einzelumlaufes und der Drehsinn der langsamen Ellipsendrehung im Raum immer gleich.

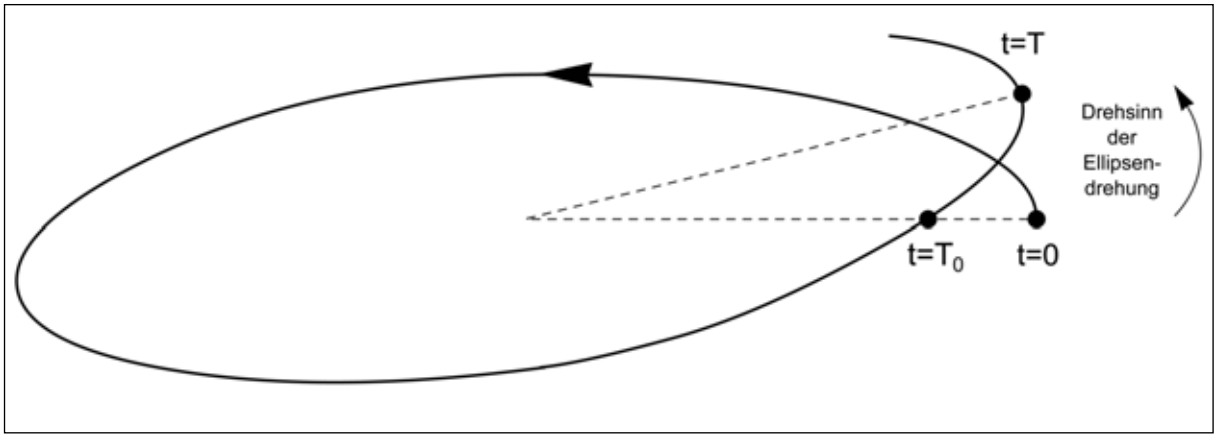


Abb. 1: Die Bahnkurve der „Ellipse“, hier gezeigt für eine Periode, ist wegen $T > T_0$ nicht stationär.

Die Winkelgeschwindigkeit ω_E, mit der sich jede Ellipsenbahn unabhängig von der Erdrotation im Raum dreht, wird in [Ols 81] berechnet. Sie lautet

$$\omega_E = ¾ \cdot \pi \cdot A \cdot b / (l^2 \cdot T). \qquad (4)$$

Dabei ist A die Amplitude der erwünschten Pendelschwingung, b die hoffentlich kleine Amplitude der unerwünschten Pendelschwingung, l die Pendellänge und T die Periodendauer. In (4) ist die Umrechnung von Bogenmaß in Grad noch nicht eingearbeitet. Damit ein Foucault-Pendel sich wunschgemäß verhält, muss möglichst $\omega_E \ll \omega_F$ gelten. Für Berlin mit $\varphi = 52{,}5^\circ$ N ist $\omega_F = 11{,}9^\circ/h$. Unter Benutzung von Gleichung (4)

ergeben sich mit $A = 0{,}5$ m und $b = 2$ mm folgende Zahlenwerte: $\omega_E = 7{,}6°/h$ für das TFH-Pendel ($l = 4$ m) und $\omega_E = 0{,}007°/h$ für das originale Foucault-Pendel ($l = 67$ m).

Das bedeutet: Wenn man beim TFH-Pendel die Existenz einer Ellipse schon mit dem Auge wahrnimmt ($b = 2$ mm ist nicht leicht zu sehen), kann man keine brauchbare Messung erwarten. Dagegen würde ein langes Foucault-Pendel perfekt funktionieren.

Lösung der Probleme

Um kurze Foucault-Pendel sinnvoll zu betreiben, muss die Ausbildung der elliptischen Bewegung stark unterdrückt werden. Die geniale Lösung dazu stammt vom französischen Physiker Charron [Cha 31] und wird nach ihm Charron-Ring genannt. Der Charron-Ring wird gemäß Abb. 2 unterhalb des Aufhängungspunktes des Pendels so angebracht, dass der Pendelfaden bei maximalem Pendelausschlag für kurze Zeit am Charron-Ring anliegt. Zu diesem Zeitpunkt hat die unerwünschte Querschwingung gerade ihre maximale Geschwindigkeit und wird durch Reibung selektiv gedämpft.

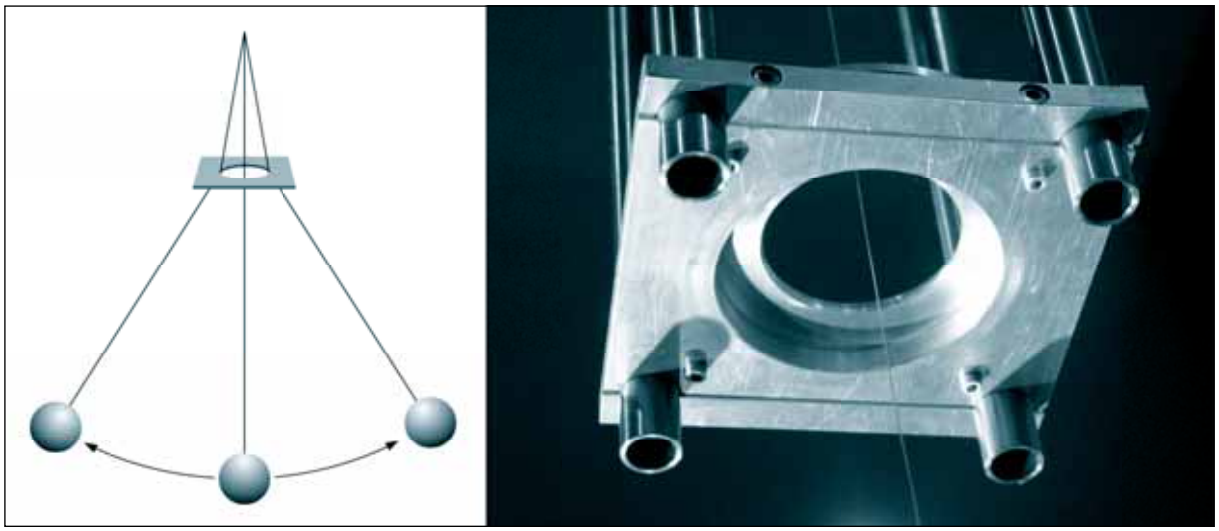


Abb. 2 : Prinzipskizze eines Charron-Ringes und Foto unserer Realisierung.

Die Installation des Charron-Ringes brachte eine dramatische Verbesserung. Durch ihn wurde eine deutliche, elliptische Startbewegung, verursacht durch ein schlechtes Anstoßen des Pendels, nach wenigen Minuten in eine für das Auge perfekte Bewegung, nämlich in eine Schwingung in einer Ebene umgewandelt. Seit der Verwendung des Charron-Ringes konnte ein Aufkommen einer elliptischen Bewegung nicht mehr beobachtet werden. Die Drehung der Pendelebene verlief nun stets im richtigen Drehsinn. Damit begann die Phase des zeitaufwändigen quantitativen Messens (für einen Vollkreis benötigt ein Foucault-Pendel in Berlin 30 Stunden). Sie ergab:

- Die Drehung der Pendelebene erfolgte nicht gleichförmig.
- Die mittlere Winkelgeschwindigkeit entsprach dem erwarteten Wert.
- Die Ungleichförmigkeit war zufällig, also nicht reproduzierbar.

Über die Ursache von nicht mehr sichtbaren elliptischen Störungen, die die Winkelgeschwindigkeit verfälschen, konnten wir nur mutmaßen. Es war denkbar, dass die Kugelstoßkugel nicht geometrisch perfekt magnetisiert wurde. Deshalb ersetzten wir die Kugelstoßkugel durch einen Messingzylinder, an dessen Unterseite wir einen sehr kleinen Ringmagneten mittig anbrachten. Das zentrale Loch des Ringmagneten ließ den Einbau einer rot strahlenden Laserdiode zu; damit wurde es möglich, die mühsamen seitlichen Peilungen wegzulassen und stattdessen nur das Wandern des roten Lichtpunktes auf einem Tisch mit Strichmarkierungen zu beobachten. Schon nach ca. drei Minuten war damit die Drehung der Schwingungsebene klar auszumachen.

Da das neue Konzept im Labor gut funktionierte, präsentierten wir unser kurzes Foucault-Pendel 2004 erstmalig in der Langen Nacht der Wissenschaften in der TFH. Über mehrere Stunden drehte das Pendel

seine Schwingungsebene wie erwartet, drehte dann aber langsamer und schließlich gar nicht mehr. Dieses Einparken war so zu deuten, dass irgendein Störmechanismus eine kleine elliptische Bewegung verursachte, deren Eigendrehung die Drehung aufgrund der Erdrotation gerade in Schach hielt. Nach einem Neustart mit 30 Grad Versatz drehte sich die Pendelebene wieder vorbildlich.

In der Folgezeit versuchten wir, weitere mögliche Störquellen auszumerzen. Die Spulen mit Eisenkern wurden durch neue Luftspulen ersetzt, um Fehljustierungen durch Wirbelströme zu vermeiden. Wir untersuchten die Biegungen des tragenden Balkens mit Spiegeln und Laserstrahlen, fanden jedoch völlig ausreichende Steifigkeit vor. Einen Einfluss von magnetischen Objekten in der Nähe des Pendels konnten wir ausschließen. Schließlich half uns der Zufall. Bei einer unserer zahlreichen Messungen im Haus Grashof trat wieder ein Einparken auf. Diesmal nutzten wir es, um die Ursache herauszufinden. Wir stellten fest, dass die Drehung der Schwingungsebene aus der Parkposition unmittelbar wieder einsetzte, sobald wir den Antrieb abschalteten, und dass das Pendel wieder einparkte, sobald wir den Antrieb wieder einschalteten. Damit war klar: trotz größter Sorgfalt bei der Ausrichtung und Positionierung der Spule unter dem Pendel bewirkt der magnetische Antrieb gelegentlich eine zu starke elliptische Störung. Deshalb realisierten wir eine Empfehlung aus [Szo 02]. Danach erhöht ein mit Anziehung arbeitender Antrieb die Winkelgeschwindigkeit ω_E der Ellipse, während ein mit Abstoßung arbeitender Antrieb ω_E vermindert.

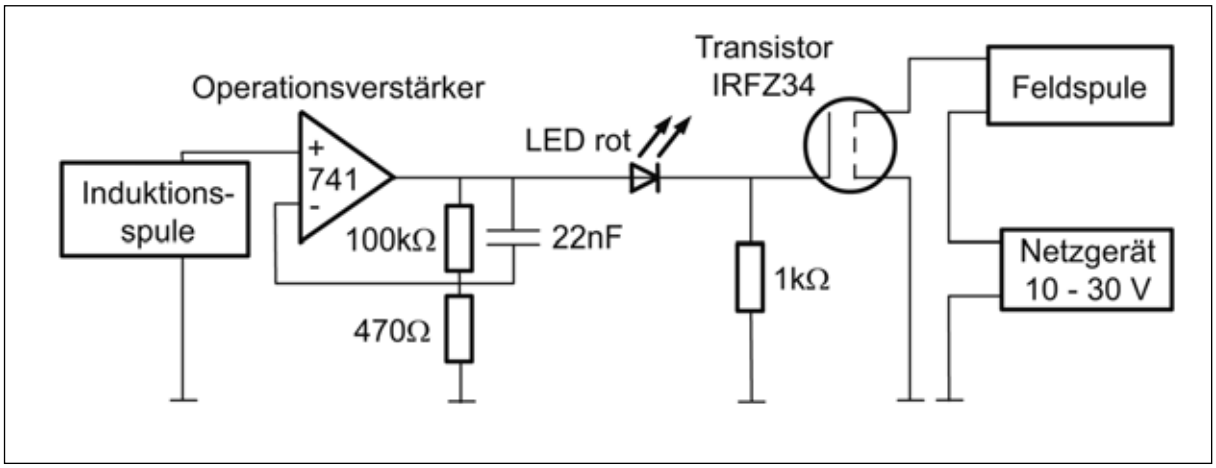


Abb. 3: Schaltplan für den auf Abstoßung beruhenden Antrieb

Nach Umstellung des Antriebes von Anziehung auf Abstoßung erreichten wir reproduzierbar eine fast konstante Winkelgeschwindigkeit ω_F mit korrektem Mittelwert. Nach zwei Jahren sehr guter Funktion traten am Pendel unerwartet Wackelschwingungen auf, die durch den Antrieb angeregt wurden. Nach vielen Fehlversuchen konnten wir die Wackelschwingungen beseitigen, indem wir zwischen Pendelmasse und Faden ein Stückchen Kette einsetzten. Offenbar entzieht die Reibung zwischen den Kettengliedern der Wackelschwingung ausreichend Energie. Nun sind wir gespannt darauf, ob das kurze Foucault-Pendel weitere Überraschungen für uns bereithält.

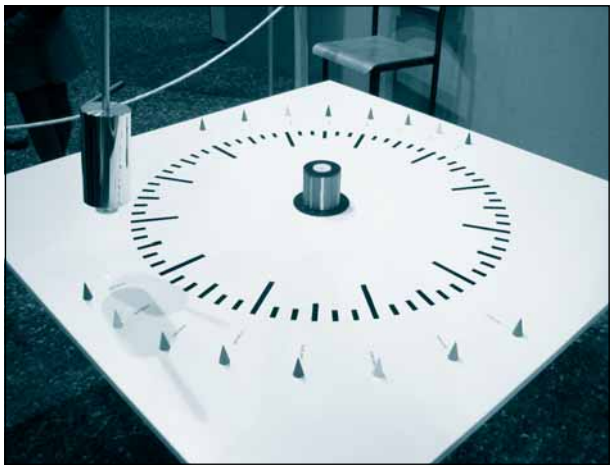


Abb. 4: Das kurze Foucault-Pendel in der seit 2005 existenten, verbesserten Version.

Literatur

[Cha 31] F. Charron (1931): Sur un perfectionnement du pendule de Foucault et sur l'entretien des oscillations, Bul. Societé Astronomique de France 45, 457-462.

[Ols 81] M. G. Olsson (1981): Spherical pendulum revisited, Am. J. Phys. 49, 531-534.

[Szo 02] Roland Szostak (2002): Ein permanent schwingendes Foucault-Pendel für Schulen, PLUS LUCIS 2/2002-1/2003, S. 11-15.

Danksagung

Wir danken Matthias Seurig, Levent Cibic, Cora Koch und Martin Roll für Ihre Mitarbeit und die unermüdliche Standbetreuung.

Kontakt

Prof. Dr. Wolfgang Vollmann
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30 - 4504 3919
E-Mail: vollmann@beuth-hochschule.de

Entwicklung von Verfahren zur Extraktion und Reinigung von Feinchemikalien aus Biotransformationsprozessen / Teilprojekt: Entwicklung von Extraktions- und Reinigungsschritten

Prof. Dr. Rainer Senz, Dipl.-Ing. Michael Burkhardt
Forschungsschwerpunkt: Biotransformation organischer Moleküle

Kurzfassung
In der Organischen Chemie sind enantiomerenreine Verbindungen von besonderer Wichtigkeit. Eine Strategie zur Darstellung solcher Verbindungen besteht darin, racemische Gemische enatioselektiv zu spalten. Unter optimierten Bedingungen kann erreicht werden, dass nur eine Form gespalten wird, während die andere unverändert erhalten bleibt. Diese muß jedoch anschließend abgetrennt und gereinigt werden.

Abstract
In organic chemistry pure enantiomeric compounds are of special importance. A strategy for the representation of such connections can be done by splitting racemic mixtures through enzymes that are enatioselective. Under optimized conditions it can be achieved that only one chirale form is split, while the other one stays unchanged. These must be separated and cleaned however afterwards.

Einleitung

Eine Möglichkeit zur Darstellung von enantiomerenreinen Verbindungen besteht darin, Ester aus racemischen Alkoholen und achiralen Säuren mittels Enzymen enatioselektiv zu spalten. Unter optimierten Bedingungen soll erreicht werden, dass nur eine chirale Form des Esters gespalten wird, während die andere unverändert erhalten bleibt.

Nach Abschluss der enzymatischen Reaktion wird die wässerige Lösung mit Natriumhydrogencarbonat versetzt, wodurch die bei der Spaltung entstandene achirale Säure in ihr hydrophiles, wasserlösliches Natriumsalz überführt wird. Durch Extraktion mit einem organischen Lösemittel wird unumgesetzter Ester sowie der bei der Spaltung gebildete chirale Alkohol aus der wässerigen Matrix entfernt. Nach Trocknung der organischen Lösung wird das Lösemittel entfernt. Der zurückbleibende Extrakt aus lipophilen Matrixbestandteilen, unumgesetzter Ester und chiralem Alkohol kann durch fraktionierte Destillation aufgetrennt werden. Neben dem Zielprodukt, dem chiralen Alkohol, kann so auch unumgesetzter Ester zurückgewonnen werden. Die Reinheit und Identität der Ester wurde mittels GC-MS überprüft.

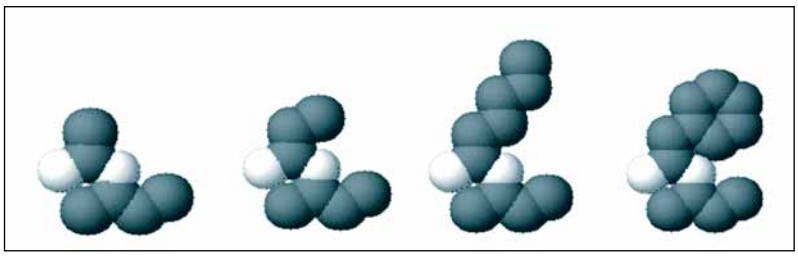


Abb. 1: (von links nach rechts) *sec.*-Butylacetat, sec.-Butylpropionat, *sec.*-Butylhexanoat und *sec.*-Butylphenylacetat

Neben den unterschiedlichen Siedepunkten der Alkohole wurden die Säurekomponenten so gewählt, dass ein möglicher Zusammenhang zwischen Enzymaktivität und sterischen Einflüssen der Säurereste festzustellen ist.

Hauptteil

Eines der Hauptprobleme ist die Isolierung der Matrixbestandteile aus dem wässrigen Medium. Für diese Untersuchungen wurden drei Modellsubstanzen ausgewählt. Bei der Biotransformation entstanden dabei nicht nur die gewünschten Modellsubstanzen sondern auch eine Reihe von Nebenprodukten, die aus der wässerigen Matrix zu isolieren und zu untersuchen waren. Durch Vorversuche wurde festgestellt, dass die Verunreinigungen grob in drei Fraktionen unterteilt werden können: unpolare, polare und in organischen

Lösemitteln unlösliche Verunreinigungen. Zuerst wurden die lipophilen Bestandteile der Lösung durch kontinuierliche Extraktion mit Methyl-*tert*.-butylether entfernt. Nach Abtrennung des Lösemittels wurde eine leicht gelbliche Flüssigkeit erhalten.

Die Verunreinigungen, die in der wässerigen Phase zurückblieben, wurden durch langsames Abdunsten des Wassers bis zur Trockene erhalten. Der Rückstand wurde mit einem Gemisch aus Methanol/Dimethylformamid digeriert, abfiltriert und bis zur Trockene eingeengt. Der in diesem polaren organischen Lösemittelgemisch unlösliche Rückstand wurde im Trockenschrank bei 110 °C bis zur Gewichtskonstanz getrocknet.

Die mittels MTBE-Phase abgetrennte Flüssigkeit wurde gaschromatografisch untersucht. Dabei stellte sich heraus, dass es sich zum größten Teil um die Zielsubstanzen bzw. die prochiralen Edukte handelt. Je nach Charge ergab sich ein Gehalt von 96-98% an Rohprodukt aus entsprechenden Diolen und Ausgangssubstanz. Für die Gehaltsbestimmung erwies sich die Gaschromatografie als ungeeignet, da es selbst bei hohen Injektor-Temperaturen (> 350 °C) nur in unzureichender Weise gelang, die Verbindungen zu verdampfen.

Durch Phasenumkehr-Dünnschichtchromatografie (RP-TLC) unter Verwendung verschieden-er Laufmittelzusammensetzungen gelang es, das Gemisch, wenn auch nur in unbefriedigender Weise, aufzutrennen (siehe Abb. 2).

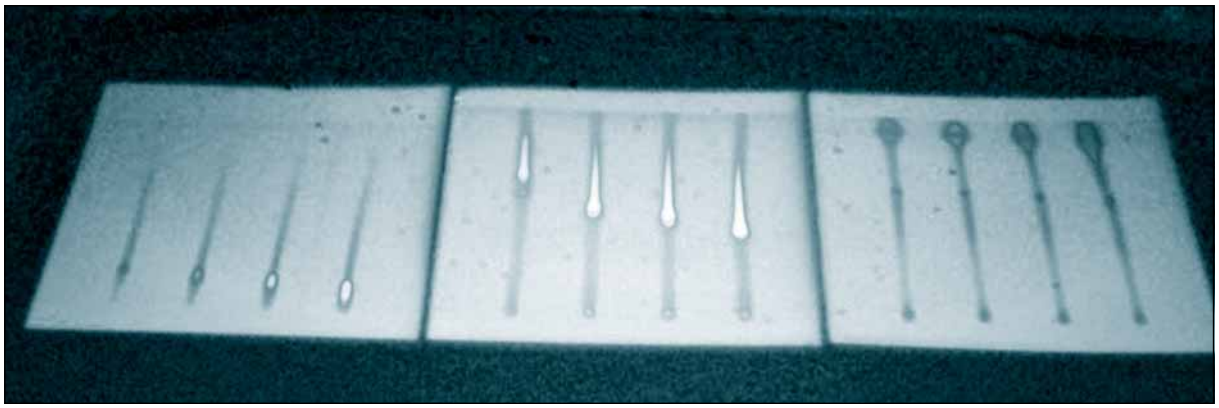


Abb. 2: Auf RP-18 Dünnschichtplatten chromatografierte Verunreinigung unter UV-Licht. Verwendete Laufmittel: Acetonitril/Wasser-Gemische.

Da Laufmittelgemische mit stark unterschiedlichen Polaritäten verwendet werden mussten, kann angenommen werden, dass es sich um ein komplexes Gemisch von Verbindungen mit kontinuierlicher ansteigender Zahl an polaren, funktionellen Gruppen handelt. Eine Bestätigung dieser Annahme lieferten infrarotspektroskopische Untersuchungen. Bei Berücksichtigung der „Stoffbilanz“ der Forschungsansätze ist es daher sehr wahrscheinlich, dass es sich bei den Verunreinigungen um polymere Fragmente an Proteinresten und Polysacchariden aus dem Biotransformationsprozess handelt.

Um die Zielsubstanzen aus der wässerigen Phase zu gewinnen, wurden mehrere Extraktionsverfahren im kleinen Maßstab (1 bis 1000ml) vergleichend getestet. Als Diollösungen dienten präparative Ansätze der Firma Biowox. Neben der rein technischen Effizienz der einzelnen Verfahren wurde auch auf die Aspekte Energie- und Material-verbrauch geachtet.

Im Folgenden wurden Aborption/Desorption-Versuche mit ausgewählten SPE-Materialien durchgeführt. Für die Versuche wurden SPE-Kartuschen in Spritzenform verschiedener Her-steller verwendet. Die verschiedenen SPE-Kartuschen mit Sorbensbettmassen zwischen 100 bis 500 mg wurden auf ihre Aborptionskapazität, Durchlassrate und auf die Anzahl an Verwendungszyklen getestet. Als wässerige Testlösungen wurden Lösungen von Diolen in Konzentrationsbereichen zwischen 0,2 und 2,0 Volumenprozent verwendet. Als Lösemittel für die Desorption wurde Aceton oder 2-Propanol in Volumina von 1 bis 5 ml pro Versuch benutzt. Um zu ermitteln, welche Kapazität die verschiedenen Sorbensmaterialien haben, wurden die Konzentrationen an Diolen vor und nach der Absorption durch das Sorbens gemessen. Die Analysen erfolgten wiederum gaschromatografisch.

Die Ergebnisse der Analysen zeigten erhebliche Unterschiede in der Aborptionsfähigkeit zwischen den Sorbentien (siehe Abb.3).

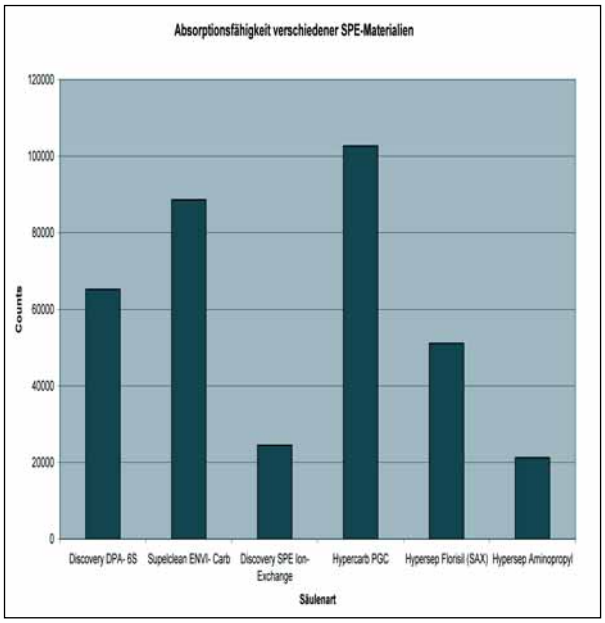


Abb. 3: Die unterschiedlichen Absorptionskapazitäten von SPE-Materialien gegenüber 1,3-Butandiol

Bei der Beurteilung der Extraktion durch SPE-Materialien fällt auf, dass das Verhältnis zwischen Sorbat und Isolat selbst im besten Fall ungünstig klein ist. Zur Reinigung und Desorption konnten Lösemittel verwendet werden welche nur eine geringe Toxizität besitzen. Durch Wahl von SPE-Units in Form von Büchner-Trichtern mit Sorbatmassen bis 100 g ist es jedoch möglich, ein günstigeres Verhältnis an Preis/Material bzw. Sorbat/Lösemittel zu erzielen.

Im weiteren Verlauf der Arbeiten wurden Versuche mit kontinuierlichen Extraktionsverfahren unter Verwendung organischer Lösemittel durchgeführt. Die verwendeten Versuchssubstanzen sind jedoch unbegrenzt wasserlöslich. Vorversuche, die Diole diskontinuierlich zu extrahieren, blieben erfolglos. Deswegen wurde die Anreicherung der Diole mit Hilfe von kontinuierlich arbeitenden Extraktionsapparaturen durchgeführt.

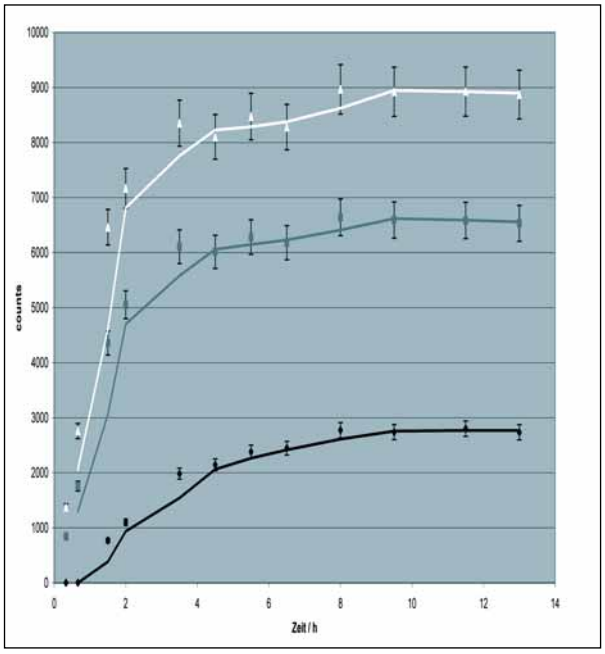


Abb. 4: Unterschiedliche Extraktionsgeschwindigkeiten der Diole: 1,3-Butandiol (schwarz), 2,4-Pentandiol (grau), 2,5-Hexandiol (weiss).

Um diese Extraktionsmethode zu testen, wurden wiederum wässerige Versuchsansätze der Firma Bioworx verwendet, welche die einzelnen Diole in einer Konzentration von ca. 2 Volumenprozenten enthielten. Durch die Wahl unterschiedlicher Extraktionsmittel und durch Zugabe von verschiedenen Mengen an Natriumchlo-

rid zur wässerigen Phase wurde versucht, die Bedingungen für die Extraktion zu optimieren. Als Lösemittel wurden Ethylacetat und MTBE verwendet. Die analytische Überwachung der Extraktionen erfolgte durch regelmäßige Probenahme. Zusätzlich wurde nach Beendigung der einzelnen Versuche der Restgehalt an Diolen in der wässerigen Phase bestimmt. Alle Proben wurden mittels Gaschromatografie untersucht.

Die Analysenergebnisse zeigten, dass es, bei hinreichend langer Dauer der Extraktion, gelang, die Diole vollständig in die organische Phase zu überführen. Der Gehalt an Diolen in den Rohprodukten war größer als 97 %. Teilweise war die Reinheit der Rohprodukte nach dem Einengen so hoch, dass die festen Diole auskristallisierten. Die hydrophilen Verunreinigungen blieben fast vollständig in der wässerigen Phase zurück. Die Reste an Diolen in der wässerigen Phase lagen nach der Extraktion unterhalb der Bestimmungsgrenze. Strukturbe-dingt gelang die Anreicherung der verschiedenen Diole, bei identischen Versuchsbeding-ungen, unterschiedlich schnell (siehe. Abb. 4).

Im Vergleich der Lösemittel konnte festgestellt werden, dass MTBE zu einer schnelleren Extraktion führt als Ethylacetat. Auch durch die Zugabe von Natriumchlorid zur wässerigen Phase konnte eine leichte Erhöhung der Extraktionsgeschwindigkeit erzielt werden (siehe Abb. 5).

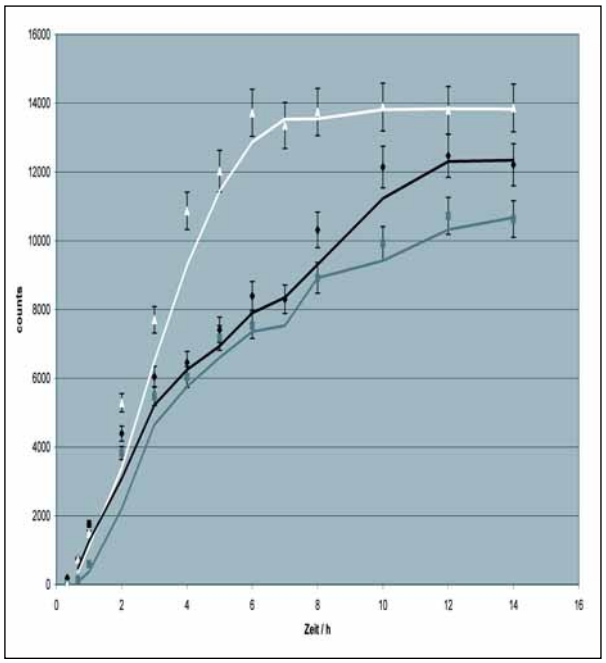


Abb. 5: Extraktionsgeschwindigkeit von 1,3-Butandiol: Mit Ethylacetat (grau), Ethylacetat und 20% NaCl in wäss. Phase (schwarz), mit MTBE (weiss).

Eine Bewertung der Extraktion mit Perforator ist überwiegend günstig. Es wird nur wenig Lösemittel benötigt, da es in einem Kreisprozess geführt wird. Die getesteten Lösemittel sind preisgünstig erhältlich und haben nur eine geringe Toxizität. Kritisch zu beurteilen sind hingegen der Energieverbrauch und die relativ langen Zeiten, die für die Extraktion benötigt werden.

Es wurden darüber hinaus Untersuchungen zur Gefriertrocknung durchgeführt. Als Versuchslösungen wurden wieder technische Ansätze der Firma Bioworx mit einem Diolgehalt von ca. 2 Volumenprozent verwendet. Jeweils 100 ml Lösung wurden in einem 1000 ml Birnenkolben gegeben und mit Hilfe eines Kältegemisches eingefroren. Dabei wurde darauf geachtet, die einfrierende Lösung über eine möglichst große Innenfläche des Kolbens zu verteilen. Danach wurde der Kolben an die Gefriertrocknungsanlage angeschlossen und im Vakuum bis zur Gewichtskonstanz getrocknet. Da alle Verunreinigungen in den Rohprodukten zurückblieben, mussten diese mit MTBE oder Ethylacetat digeriert und danach von den Verunreinigungen abfiltriert und eingeengt werden. Nach dieser Reinigung hatten die Rohprodukte einen Diolgehalt von größer 97 %.

Zusammenfassung

Für die Entwicklung von Extraktionsmethoden für die Modellsubstanzen wurden drei Verfahren getestet und bewertet. Bei allen Verfahren gelang es, bei unterschiedlichem Aufwand an Kosten, Materialien und Zeitbedarf, die Diole aus der wässerigen Matrix zu isolieren bzw. als angereichertes Rohprodukt zu erhalten.

Literatur

- Senz, R. (2007): Entwicklung von spezifischen Analysemethoden für organische Substanzen aus Biotransformation – Forschungsbericht, Technische Fachhochschule Berlin 2007.
- Grimm, Th.; Burkhardt, M.; Grimm, M.; Senz, R.; Stepnowski, P. (2008): Reduktion von hydrophilen Substanzen in Wassereinsatz von Adsorptionsmaterialien in der Biokatalyse bei der mikrobiellen Reduktion hydrophober Substanzen in Wasser, 41. Jahrestreffen Deutscher Katalytiker, 27. – 29. Feb. 2008 / Weimar.
- Kapitza, P.; Czerwicka, M.; Golebiowski, M.; Senz, R.; Grimm, Th.; Stepnowsk, P. (2008): Zastosowanie chromatografii gazowej do oceny przebiegu biokatalitycznej reakcji powstawania 1-fenyloetanolu prowadzonej w cieczach jonowych, Łódz, April 2008.
- Grimm, Th.; Kleine-Benne, E.; Senz, R.; Piechotta, Ch. (2008): Stoffwechselprozesse analysieren und überwachen Laborpraxis 10/2008.
- Grimm, Th.; Piechotta, Ch.; Kleine-Benne, E.; Fabian, G.; Grimm, M.; Burkhardt, M.; Senz, R. (2008): Usage of a Cleaning System with Direct Online GC-Measurement for the Development of Chiral Biocatalytic Processes, Biotechnica / European Bioperspectives, Hannover, Oktober 2008.

Kontakt

Prof. Dr. Rainer Senz
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 2264
E-Mail: rainer.senz@beuth-hochschule.de

Kooperation

Fa. Bioworx, Berlin
Prof. Dr. P. Stepnowski, Universität Gdansk, Polen

Retrospective Optimization of treatment planning for Permanent Seed Implantation based on clinical outcome

Prof. Dr. Kay-Uwe Kasch, Dipl-Ing. Cora Coch, Prof. Dr. Peter Wust
Forschungsschwerpunkt: Strahlenthearpie beim Prostatakarzinom

Kurzfassung

Über die letzten zwei Jahrzehnte konnte gezeigt werden, dass die Permanente Implantation von (radioaktiven) seeds eine klare Alternative in der Behandlung des Prostatakarzinoms darstellt. Einen kritischen Punkt des Verfahrens stellt die Bestrahlungsplanung dar, d.h. die Computersimulation der letztendlich im Patienten applizierten Dosisverteilung und die damit angestrebte klinische Wirkung. Aufbauend auf einer retrospektiven Studie klinischer Ergebnisse und deren zugrunde liegender dosimetrischen Daten werden hier physikalische Optimierungskriterien abgeleitet, die optimale klinische Ergebnisse sichern sollen.

Abstract

The advantages of permanent seed implantation (PSI) as an alternative in the treatment of prostate cancer have been shown for the last two decades. A pivotal point in that chain is treatment planning, i.e. the computer simulation of the eventual dose distribution within the patient and the thereby intended clinical impact. Based on a retrospective analysis of clinical and their respective dosimetric data, this work derives a standardized set of physical optimization constraints to ensure the best possible clinical outcome.

Introduction

Radiotherapy utilizes ionizing radiation to selectively destroy or at least inhibit the growth of malignant tissue (e.g. tumors) where alternative methods such as surgery or systemic approaches (e.g. chemotherapy) would either be insufficient or fail completely. The goal of radiotherapy is to achieve a uniform prescribed (energy) dose in the target while keeping the doses to adjacent normal structures as low as possible. Given the complexity of modern treatment regimen, this necessitates a thorough treatment planning, nowadays being a computer simulation of the eventually applied treatment.
In the case of permanent seed implantation (PSI) for prostate cancer, small radioactive seeds are implanted into the prostate where they remain permanently (cf. Fig. 1). The eventual (prescribed) total dose is reached in time along with the radioactive decay of the seeds, i.e. as the superposition of the specific dose distribution rendered by each seed. These individual dose distributions are a function of the seed activity and the energy of the radiation emitted. For completeness it has to be added, that from a biological point of view (outside the scope of this paper) the half time of the radioactive nuclide implanted also affects the eventual clinical outcome of the treatment.
As of today, almost all seed implantations use I-125 based seeds. That leaves two parameters for optimization: seed activity and seed distribution, i.e. seed positioning.
Due to the time pressure under clinical conditions (treatment planning is performed intra-operatively) this optimization process should be standardized and robust, i.e. applicable to the vast majority of possible patients with a steep learning curve for the potential planner.

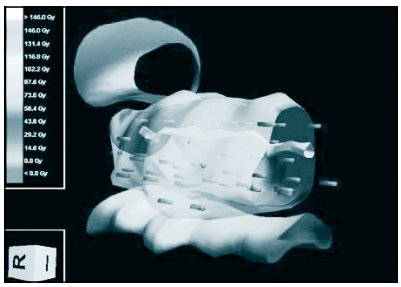


Fig. 1: A typical anatomical model used for treatment planning. Shown are bladder (upper structure), urethra and rectum wall as organs to be protected from radiation as well as the prostate with the seeds (to be implanted). The color coding refers to different dose levels applied to the structures. (from VariSeed 7.0, ©VARIAN)

Methods and Materials

This work is based on 286 patients that underwent permanent seed implantation at the Ullstein Outpatient Surgical Centre between 1999 and 2003. Of these 286 patients, 197 were analyzed in a postimplant study by Wust et al. [Wus 08] establishing a correlation between dose distribution parameters and clinical outcome such as toxicities and quality of life in general. Based on these findings we derived a set of parameter constraints that we used to re-plan the same group of patients. Using the treatment planning package VariSeed 7.0 we assumed two different activities (0.4 and 0.7 mCi per seed, further down referred to as low activity and high activity seeds, respectively) for the eventually utilized seeds. A simple score function was applied as a measure for optimization success.
The dose distribution in the different volumes (prostate, urethra, rectum) is described by a so called dose volume histogram (DVH). Fig. 2 shows both types of commonly used DVH's, the differential and integrated DVH as well as the derivation of the latter from the first one. Although the differential approach is more intuitive, only the integrated DVH allows an overall evaluation of the dose distribution for all structures of interest.

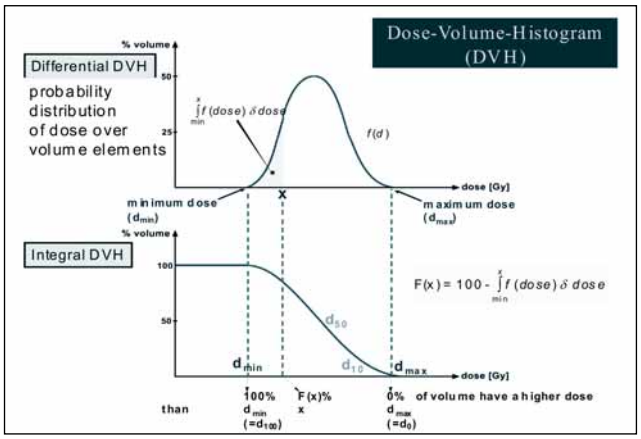


Fig. 2: The commonly used dose volume histograms (DVH's) to describe the dose distribution in different structures. The differential DVH describes the number of volume elements (here as a probability distribution) as a function of dose. Clinically more useful, however, is the corresponding integrated DVH as shown in the lower part. It allows an effective evaluation of different planning results in regard to the dose burdens rendered to the different structures.

Ideally, the DVH for the prostate is a heavy-side function reaching from zero to the prescribed dose (e.g. 145 Gy) for 100% of the volume; for the organs to be protected (e.g. rectum wall and urethra) it should be zero for all doses.
The two parameters describing a DVH are defined by the following notation:

- V_x (volume) [%]: Percentage of a particular volume (e.g. the rectum) which achieves at least x% of the prescribed dose (here always 145 Gy).
- D_x (volume) [Gy]: Dose at least deposited in x% of a particular volume (e.g. the prostate).

Even though both parameters can be used interchangeably to mark a fixed position on the DVH curve, a change of either one results in a different modification of the DVH curve and, thus, dose distribution.
According to the clinical findings a particular set of DVH (related) parameters was optimized. The score function to be minimized was assumed as:

$$\text{Score} = \frac{\sum_i w_i \left(T(P_i) - I(P_i)\right)^2}{\sum_i w_i}$$

with $T(P_i)$ and $I(P_i)$ as true and ideal values, respectively, of the *i-th* parameter to be optimized. The weights w_i were given according to the importance of the particular criteria. Highest priority was given to the homogeneous coverage of the target volume with 100%, followed by avoiding dose peaks inside the urethra and rectum as well as needle and seed criteria. The optimization process was partly performed using an algorithm implemented in the planning software. However, since the algorithm considers only a fraction of the herein defined parameters, all results were further optimized manually.

Results and Discussion

For the patient group investigated the finally used score function proved robust for both, low activity and high activity seeds. Fig. 3 represents typical cases from the given score intervals: The better (lower) the score, the better the coverage and homogeneity of the dose distribution within the prostate (high priority). Compared to the scores achieved from dose distribution taken from real implementations, the score function used in this work proved to potentially give the clinically better results: All scores from the optimization process in this study were below or (worst case) equal to the scores resulting from retrospectively evaluated dose distributions.

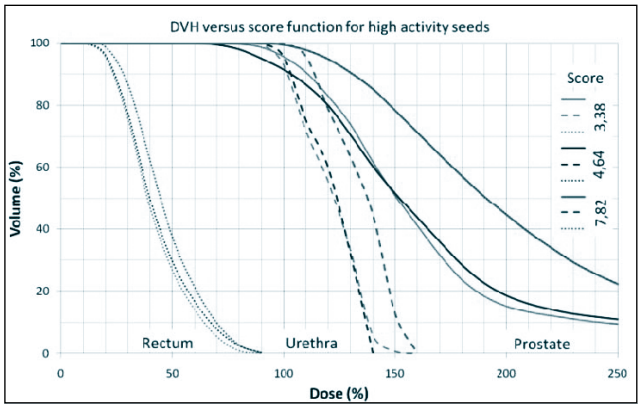


Fig. 3: The lower the score the better the dose homogeneity and coverage of the prostate, the solid lines approximate more and more a heavy side function (as discussed above). To a lesser extend improve the organs at risk, i.e. urethra and rectum. However, given the weights (priorities) of the score function (homogeneity and coverage were highest) the results follow the intended dose distribution.

Parts of the work presented were included into a project being part of a Medical Physics master course at TFH. More than 30 cases, i.e. optimizations included here were performed by students. After only a few hours of training all students, given the above optimization criteria, scored in the range of experienced planners. That indicates a steep learning curve for a planner – a pivotal point under clinical settings.

Literature

[Wus 04] Wust P; Wischka von Borczykowski D; Henkel T; et al. (2004): Clinical and physical determinants for toxicity of I-125 seed prostate brachytherapy, Radiother Oncol 2004; 73; 39 – 48.

[Wus 08] Wust P; Postrach J; Kahmann F; et al. (2008): Postimplantation Analysis enables improvement of dose-volume-histograms and reduction of toxicity for permanent seed implantation, Int J Radiat Oncol Biol Phys 2008; 71; 28 – 35.

Contact

Prof. Dr. Kay-Uwe Kasch
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 2446
E-Mail: kasch@beuth-hochschule.de

Dipl.-Ing. Cora Koch
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 2447
E-Mail: ckoch@beuth-hochschule.de

Prof. Dr. Peter Wust
Universitätsklinikum Charité
Medizinische Fakultät der Humboldt Universität zu Berlin
Augustenburger Platz 1
13353 Berlin
E-Mail: peter.wust@charite.de

Die Fußpunktkurve und Kennzeichnungen von logarithmischen Spiralen

Prof. Dr. Angela Schwenk-Schellschmidt
Forschungsschwerpunkt: Differenzialgeometrie ebener Kurven

Kurzfassung

Es wird die Klasse der ebenen Kurven mit positiver Krümmung und sphärischer Parametrisierung untersucht, für die die Kurve und eine ihrer abgeleiteten Kurven wie Evolute, Kaustik, Fußpunkt- und Kofußpunktkurve ähnlich sind. Diese Eigenschaften werden durch eine homogene lineare Differenzialgleichung erster Ordnung für die Stützfunktion charakterisiert. Es wird eine vollständige Klassifikation dieser Kurvenklasse gegeben.

Abstract

We study the class of plane curves with positive curvature and spherical parameterization so that the curves and their derived curves like evolute, caustic, pedal and co-pedal curve, resp., have the same shape. We characterize these properties by a homogeneous linear differential equation of the first order for the support function ϱ *and we give a complete local classification of this class.*

Einleitung

In vorangegangen Arbeiten [MSS 07, S-S 06] wurden ebene Kurven klassifiziert, deren Krümmungsradien eine lineare Differenzialgleichung zweiter Ordnung erfüllen. Geometrisch lassen sich diese Kurven dadurch charakterisieren, dass ihre Evolute jeweils durch Parallelverschiebung und/oder Drehstreckung/Drehstauchung aus einer geeigneten Abwicklung hervorgeht. Im vorliegenden Bericht geht es um besondere Eigenschaften der logarithmischen Spiralen, die, wie gezeigt wird, kennzeichnend für sie sind. Analytisch können diese geometrischen Eigenschaften mit einer linearen Differenzialgleichung erster Ordnung beschrieben werden. Die benutzten differenzialgeometrischen Größen werden anschaulich erklärt und es wird erläutert, wo die Größen angewendet werden können.

Die logarithmische Spirale und ihre charakteristischen Eigenschaften

Von der logarithmischen Spirale sind viele besondere Eigenschaften bekannt. Abb. 1 zeigt die logarithmische Spirale c und von ihr abgeleiteten Kurven, wie ihre Evolute $E(c)$, ihre Kaustik $K_{p0}(c)$, ihre Fuß- und Kofußpunktkurve $F_{p0}(c)$ bzw. $G_{p0}(c)$, jeweils bezogen auf das Zentrum p_0 der Spirale. Ein Teil der besonderen Eigenschaften ist nun, dass jede der vier abgeleiteten Kurven die gleiche Form wie die Ausgangskurve hat, d. h., sie lassen sich durch eine geeignete Drehstreckung bzw. -stauchung um den Punkt p_0 jeweils ineinander überführen.

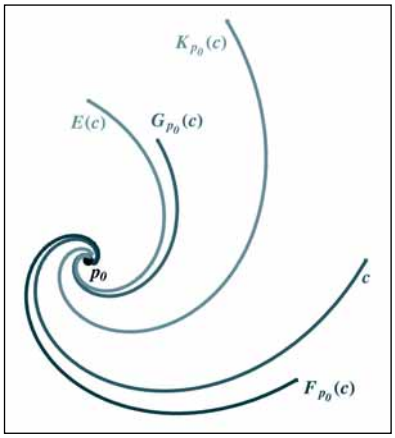


Abb. 1: Die logarithmische Spirale und ihre abgeleiteten Kurven

Der folgende Satz zeigt, dass diese Eigenschaften charakteristisch für die logarithmischen Spiralen sind (Sie sind die einzigen Kurven mit diesen Eigenschaften.):

Satz [S-S 08]**: Charakterisierung logarithmischer Spiralen**
Ist c eine Kurve mit positiver Krümmung, $\rho_{p0}(c)$ ihre Stützfunktion bzgl. eines geeigneten Punktes p_0 und k eine reelle Konstante, dann sind folgende Aussagen äquivalent:

a) Es gibt einen Punkt p_0, sodass die Stützfunktion $\rho_{p0}(c)$ eine nicht triviale Lösung der Differenzialgleichung $\rho'+k\,\rho=0$ ist, wobei nach dem sphärischen Bogenlängenparameter abgeleitet wird.
b) Für den Krümmungsradius κ^{-1} gilt $(\kappa^{-1})' + k\,\kappa^{-1}=0$, wobei nach dem sphärischen Bogenlängenparameter abgeleitet wird.
c) Es gibt einen Punkt p_0, sodass die Fußpunktkurve $Fp_0(c)$ und die Kurve c ähnlich sind.
d) Es gibt einen Punkt p_0, sodass die Kofußpunktkurve $Gp_0(c)$ und die Kurve c ähnlich sind.
e) Es gibt einen Punkt p_0, sodass die Kaustik $Kp_0(c)$ und die Kurve c ähnlich sind.
f) Die Evolute $E(c)$ und die Kurve c sind ähnlich.
g) Es gibt einen Punkt p_0, sodass die Kofußpunktkurve $Gp_0(c)$ und die Fußpunktkurve $Fp_0(c)$ ähnlich sind.
h) Die Kurve c ist eine logarithmische Spirale.

Erläuterung der benutzten geometrischen Größen

Sphärischer Bogenlängenparameter

Abb. 2 zeigt eine Kurve c und in einigen Kurvenpunkten jeweils den Tangenteneinheitsvektor. Die kleine Grafik oberhalb der Kurve in Abb. 2 enthält das so genannte sphärische Bild der Kurve, das entsteht, wenn die Tangentenvektoren so parallel verschoben werden, dass sie in einem gemeinsamen Punkt angreifen.

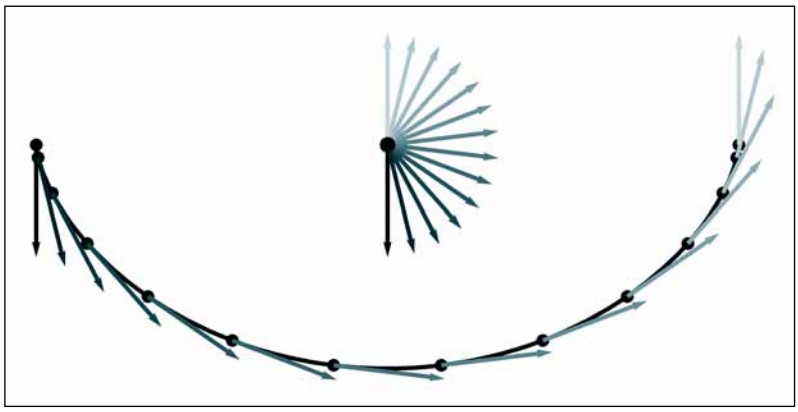


Abb. 2: Kurve mit sphärischem Bogenlängenparameter

Für die Zeichnung der Tangentenvektoren wurden die Kurvenpunkte nun so gewählt, dass im sphärischen Bild die Tangentenvektoren stets den gleichen Winkelabstand besitzen. Für ebene Kurven mit positiver Krümmung gibt es eine Parametrisierung, die mit der Bogenlänge des sphärischen Bildes übereinstimmt: die sogenannte Parametrisierung nach der sphärischen Bogenlänge. Bei dieser Parametrisierung ergibt jede äquidistante Unterteilung des Parameterbereichs, dass die zugehörigen benachbarten Tangentenvektoren stets gleichen Winkelabstand besitzen. Wie alle sinnvollen geometrischen Größen ist auch die sphärische Bogenlänge bzw. der Winkel zwischen Tangentenvektoren invariant unter Drehungen und Parallelverschiebungen der Kurve. Darüber hinaus bleibt die sphärische Bogenlänge aber auch unverändert, wenn die Kurve gestreckt oder gestaucht wird. Der hier vorgestellte Kurvenparameter kann also nicht nur als gemeinsamer Parameter von kongruenten Kurven, sondern auch als gemeinsamer Parameter von ähnlichen Kurven, wie es in der Bilderkennung wichtig ist, genutzt werden.

Stützfunktion einer Kurve

Abb. 3 zeigt ein Stück einer Kurve c mit dem Tangenten- und Normalenvektor in einem Kurvenpunkt. Die Stützfunktion $\rho_{p0}(c)$ einer Kurve beschreibt den Abstand eines gegebenen Punktes p_0 von der Kurventangente. Genauer gesagt, ist der Absolutbetrag der Stützfunktion der Abstand der Kurventangente zu p_0. Die Stützfunktion ist so definiert, dass sie einen positiven Wert hat, wenn der Punkt p_0 auf der Seite der Tangente liegt, auf die (wie in Abb. 3) der Normalenvektor zeigt; liegt der Punkt p_0 auf der anderen Seite der Tangente,

ist der Wert der Stützfunktion negativ. Man kann zeigen, dass der Abstand von p_0 zur Kurvennormalen auch über die Stützfunktion ausgedrückt werden kann: Der Abstand zur Normalen ist der Betrag $|\rho_{p0}'|$ der Ableitung der Stützfunktion, wenn nach dem sphärischen Bogenlängenparameter differenziert wird.

Fußpunktkurve und Kofußpunktkurve einer Kurve

Um den Abstand eines gegeben Punktes p_0 von den Tangenten zu messen, kann man von p_0 Lote auf die Tangenten fällen. Die Fußpunkte F dieser Lote bilden die sogenannte Fußpunktkurve $F_{p0}(c)$ der Kurve c bezüglich des Punktes p_0. Die Kurve, die von den Fußpunkten der Lote von p_0 auf die Kurvennormale gebildet wird, nennen wir Kofußpunktkurve $G_{p0}(c)$. Der Kurvenpunkt bildet in Abbildung zusammen mit dem Punkt p_0 die gegenüberliegenden Ecken eines Rechtecks, dessen Seiten parallel zur Kurventangente und -normale sind. Die beiden anderen Eckpunkte des Rechtecks sind die Fußpunkte der Lote von p_0 und gehören damit zur Fußpunktkurve bzw. zur Kofußpunktkurve. Die Fußpunktkurve steht in enger Beziehung zur Kaustik (Brennlinie) einer Kurve; über diese Anwendung der Fußpunktkurve wird weiter unten berichtet.

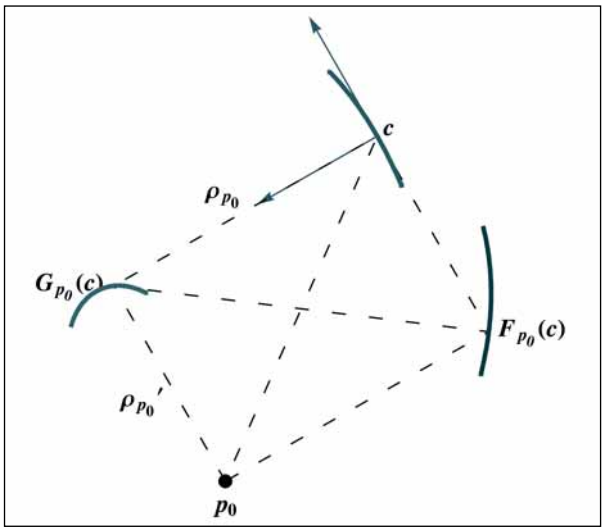


Abb. 3: Fußpunkt- und Kofußpunktkurve einer gegebenen Kurve

Man kann zeigen, dass die Rechteckdiagonale, die die Fußpunkte der beiden Lote verbindet, stets senkrecht zur Fußpunktkurve ist. Das Verhältnis von ρ_{p0}' und ρ_{p0} bestimmt die Form des Rechtecks in Abb. 3 und damit auch die Winkel zwischen den Diagonalen und den Rechteckseiten. Aussage a) aus dem Satz über die Charakterisierung logarithmischer Spiralen bedeutet, dass das Verhältnis von ρ_{p0}' und ρ_{p0} konstant ist. Die logarithmischen Spiralen und als Sonderfall Kreise sind daher die einzigen Bahnkurven auf denen sich ein Insekt bewegen kann, um eine punktförmige Lichtquelle stets unter dem gleichen Winkel zu sehen.
Die beiden Rechtecke, die bei der Erzeugung der Fußpunktkurve und der „Fußpunktkurve der Fußpunktkurve“ $F\rho_0(F\rho_0(c))$ entstehen, haben interessanterweise stets die gleichen Proportionen [S-S 08].

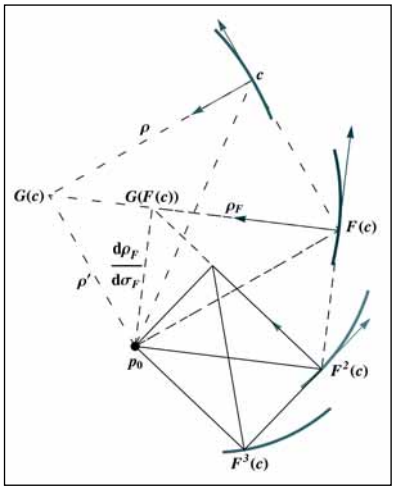


Abb. 4: Wiederholte Bildung von Fußpunktkurven

Abb. 4 zeigt diese Aussage anschaulich, denn in den beiden Rechtecken mit den Eckpunkten $p_0, F(c), c, G(c)$ bzw. $p_0, F(F(c)), F(c), G(F(c))$ tauschen eine Diagonale und eine Seite ihre Rolle. D.h., für alle Kurven c, die aus einer gegebenen Kurve durch fortgesetzte Fußpunktkurvenbildung entstehen, stimmen die Quotientenfunktionen $\rho_{p0}(c)'/\rho_{p0}(c)$ überein.
Der Prozess der Fußpunktkurvenbildung lässt sich eindeutig umkehren, d.h., zu einer gegebenen Kurve c gibt es genau eine andere Kurve, sodass deren Fußpunktkurve bzgl. p_0 die Ausgangskurve c ist.

Evolute einer Kurve

Die Einhüllenden der Normalenschar einer Kurve c heißt Evolute von $E(c)$. Abb. 5 zeigt eine Kurve und ihre Normalenschar. Die Einhüllende ist gut zu erkennen. Die Evolute ist identisch mit der Kurve, die von den Mittelpunkten der Krümmungskreise gebildet wird.

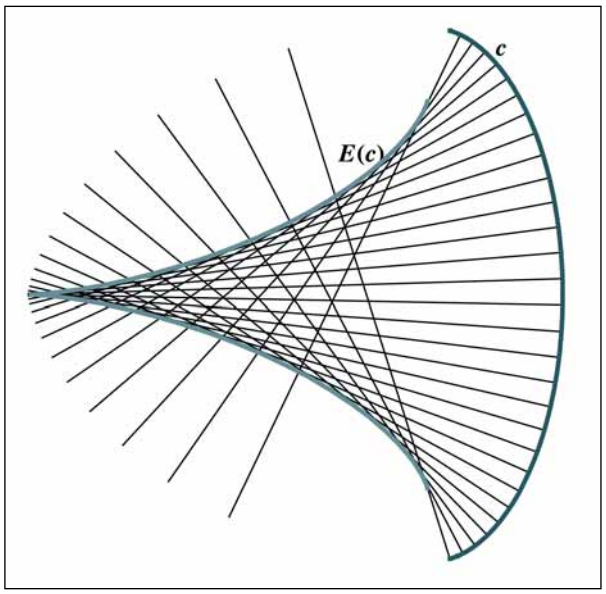


Abb. 5: Evolute *E*(*c*) einer Kurve *c* als Einhüllende der Normalen

Kaustik einer Kurve

Im Folgenden wird eine Kurve c als Form eines Spiegels betrachtet, auf die Lichtstrahlen aus einer punktförmigen Lichtquelle in p_0 fallen. Die Einhüllende der reflektierten Strahlen heißt Kaustik $Kp_0(c)$ von c bzgl. p_0. In Abb. 6 wird die Situation für einen ellipsenförmigen Spiegel gezeigt.

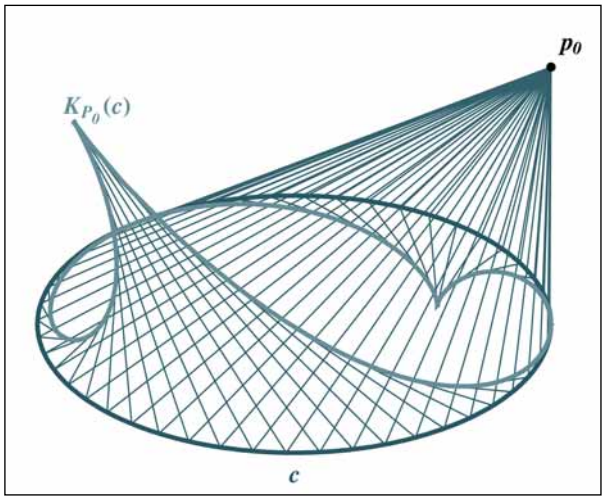


Abb. 6: Kaustik *K* einer Ellipse *c* bzgl. der Lichtquelle in p_0

Die Lichtquelle p_0 liegt hier außerhalb Ellipse c. Es sind die einfallenden Lichtstrahlen und die Lichtstrahlen, die bei der Reflexion entstehen, gezeichnet. Bei Reflexion am, aus Sicht von p_0, konkaven Teil des Spiegels ist

die Kaustik die Einhüllende der reflektieren Strahlen; bei Reflexion am konvexen Teil des Spiegels ist es die Einhüllende der rückwärtigen Verlängerungen der reflektierten Strahlen.

Beziehung zwischen Kaustik, Fußpunktkurve und Evolute

Kaustiken und Evoluten sind beides Kurven, die als Einhüllende einer Geradenschar gewonnen werden; bei den Kaustiken ist es die Schar der reflektierten Lichtstrahlen, bei der Evolute ist es die Schar der Normalen einer Kurve. Weyr hat 1869 entdeckt, dass die Beziehung über diese formale Ähnlichkeit noch weit hinausgeht: Die Kaustik einer Kurve c bzgl. der Lichtquelle p_0 und die Evolute der Fußpunktkurve von c bzgl. p_0 sind ähnliche Kurven, die erste ist doppelt so groß wie die zweite. Genauer gilt: $Kp_0(c)\text{-}p_0 = 2(E(Fp_0(c))\text{-}p_0)$ [Wey 69]. In Abb. 7 verdeutlichen die von p_0 ausgehenden Pfeile die Streckung der Evolute der Fußpunktkurve in die Kaustik.

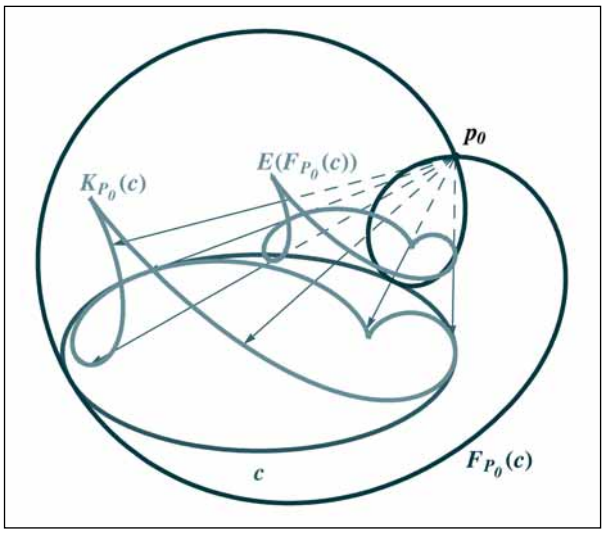


Abb. 7: Beziehung zwischen Evolute der Fußpunktkurve und Kaustik

Literatur

[MSS 07] Müller, Stephanie; Schwenk-Schellschmidt, Angela; Simon, Udo (2007): Eigenvalue equations in curve theory. Part II: Evolutes and involutes. Results in Mathematics 50 (2007), 109–124.

[S-S 08] Schwenk-Schellschmidt, Angela (2008): Pedal Curves Part I: Homogeneous Differential Equation. Results in Mathematics 52 (2008), 369-382.

[S-SS 06] Schwenk-Schellschmidt, Angela; Simon, Udo (2006): Eigenwertgleichungen in der Kurventheorie – Charakterisierung von Kurven, deren Abwicklung und Evolute durch Streckung ineinander überführbar sind. Forschungsbericht TFH Berlin, 20-23.

[Wey 69] E. Weyr (1869): Über die Identität der Brennlinien mit den Fusspunktcurven. Schlömilch Z. XIV 376-381.

Kontakt

Prof. Dr. Angela Schwenk-Schellschmidt
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 2351
E-Mail: schwenk@beuth-hochschule.de

Lipid Emulsion as Delivery Systems for Different Drugs

Prof. Dr. Mont Kumpugdee Vollrath, Ms. Hilal Bilek, Ms. Kanokporn Burapapadh, Mr. Mahir Dogangüzel Forschungsschwerpunkt: Pharmazeutische Technologie / Pharmaceutical Technology

Kurzfassung

Dieser Bericht konzentriert sich auf die Herstellung und Charakterisierung der Lipid-Emulsionen. Durch den Einsatz unterschiedlicher Sorten von lipophilen Phasen, Tensiden, Stabilisatoren oder Wirkstoffen wurden verschiedene Formulierungen hergestellt. Diese Lipid-Emulsionen können als transdermale, perorale oder systemische Drug-Delivery-Systeme eingesetzt werden. Die Tröpfchengröße der Emulsionen variierte von Mikrometern bis hin zu Nanometern mit unterschiedlicher Stabilität.

Abstract

The report focuses on the preparation and characterisation of lipid emulsions. Different formulations are demonstrated by varying types of hydrophobic phase, surfactants, stabilizers and drugs. These lipid emulsions can be used as transdermal, oral or systemic drug delivery systems. The droplet sizes of emulsions varied from micrometers to nanometres with differing stabilities.

Introduction

Different drug delivery systems e.g. lipid emulsion, liposomes and nanoparticles are available in the pharmaceutical field. Advantages and disadvantages of these systems are discussed in the literature [Mol 01]. However, there are only few systems which work as active site delivery systems. Therefore the target of the project is to find out the most suitable system for delivery of the model drugs (hydrophilic and hydrophobic drugs). This report will focus on the dispersed system i.e. emulsion, which can be prepared as a classical emulsion with particle sizes in the range of μm or nanoemulsion which will have particle sizes in the range of nm. The emulsion system can be used as a transdermal, oral or systemic delivery system. This report will show different possibilities of applications with various drugs.

Materials and Methods

Emulsion as a transdermal delivery system

For this purpose the model drug ibuporfen was used. Lipid emulsion containing ibuprofen was prepared by using soybean protein as a stabilizer. It is an aim not to use a surfactant as a stabilizer in order to reduce the toxicity. The emulsion can be used for transdermal delivery system as prepared and it is not necessary to have further treatment. Ibuprofen is a non-steroidal anti-inflammatory drug and was widely used since long. Ibuprofen has a molecular formula of $C_{13}H_{18}O_2$ and molecular weight of 206.27. It is almost not soluble in water and has pKa of 4.43 at 20° C. Different formulations were shown in Tab. 1. The resulted emulsions were characterised by using a laser light scattering particle sizer, a microscopy and a UV/VIS spectroscopy. In order to monitor the permeation of the drug ibuprofen through the skin, the model membrane from shed snake skin *Elaphae Obsoleta* (EO) and a side-by-side diffusion cell were applied.

Emulsion Code	Substance (%w/w)			
	Drug	Oil-Phase	Stabilizer	Water-Phase
	Ibuprofen	Miglyol 810	Soybean Protein	Sterile Water
S1	1	30	3	66
S2	3	30	4	63
S3	5	30	3	62
S4	10	30	4	56

Tab. 1: Formulations of lipid emulsions containing ibuprofen.

Emulsion as an oral drug delivery system

For this purpose the model drug itraconazole was used. Lipid emulsion containing itraconazole was prepared by using pectins as a stabilizer. It is an aim to use biopolymer instead of surfactant. The hydrophobic-phase was prepared from different substances i.e. Miglyol 812 or chloroform. The emulsion will be dried afterward

in order to get the powder, which will be further treated to be used as an oral delivery system. Itraconazole is an orally active triazole antimycotic agent, which is active against a broad spectrum of fungal species. This capsulatum can cause opportunistic infection in HIV infected patients [Saa 88]. Itraconazole has a molecular formula of $C_{35}H_{38}Cl_2N_8O_4$ and molecular weight of 705.64. It is a weak base drug with a pK of 3.7 and has extremely low water solubility (less than 3 μg/ml in aqueous solutions). Itraconazole is ionized only at a low pH, such as gastric juice. Therefore, on oral administration, the gastric acidity is needed for adequate dissolution. The bioavailability of itraconazole is known to increase after a meal. Thus preparation of suitable dosage form that can increase solubility of itraconazole in basic environment of human intestine is needed in order to increase drug bioavailability. Pectin is a natural polymer, which was applied in both pharmaceutical, food and biotechnological industries. It has been used as a thickening agent, a gelling agent and a colloidal stabilizer. Pectin was extracted from primary cell wall of higher plant, especially in citrus fruits, apple and beet root. The characteristic structure of pectin is a linear chain of α-(1-4)-linked D-galacturonic acid that forms the pectin-backbone [Bur 91]. Pectin has a molecular weight of typically 50,000-150,000 dalton depending on origin and extraction conditions. The classification of pectin depended on degrees of esterification (DE) that influenced pectin properties. Pectin is soluble in pure water and show negative charge. Low degree of esterification pectins can form water insoluble gel through the interaction between carboxylic group of pectin and divalent cation [Guo 98], while high degree of esterification pectins can form gel with sugar in acidic environment. Moreover, pectin can be used as a good emulsifier in oil-in-water emulsion [Akh 02]. Currently, pectin was used in many drug delivery systems, for instance, controlled release [Kub 04, Ito 07], colonic drug delivery [Wei 08] and mucoadhesive system [Thi 08]. Therefore, for this project the biopolymer pectin was used to stabilize the emulsion instead of the use of surfactant.

Type of Pectin	Molecular Weight (Dalton)	%COOH	Degree of Esterification (%)
cu201	200,000	20	70
cu020	150,000	35	43
cu701	70,000	47	38

Tab. 2: Different types of pectin used in this study.

Emulsion Code	Type of pectin	Concentration (%)				
		Pectin	Miglyol 812	Chloroform	Itraconazole	Water
1.0P201CI	cu201	1.0		20	0.50	78.500
1.5P201CI	cu201	1.5		20	0.50	78.000
2.0P201CI	cu201	2.0		20	0.50	77.500
3.0P201CI	cu201	3.0		20	0.50	76.500
1.0P201MI	cu201	1.0	20		0.003	78.997
1.5P201MI	cu201	1.5	20		0.003	78.497
2.0P201MI	cu201	2.0	20		0.003	77.997
3.0P201MI	cu201	3.0	20		0.003	76.997

Tab. 3: Examples of formulations of lipid emulsions containing itraconazole.

Emulsion as a systemic drug delivery system

For this purpose the model drug lidocaine was used. Lipid emulsions containing lidocaine base or hydrochloride were prepared respectively by using pectin as a stabilizer. In order to prolong the stability the surfactant was also added. Lidocaine is a local anaesthetic drug and was reported to be used as an injection [Mül 04]. Two types of lidocaine were used because of their differences in water solubility. Lidocaine base has a molecular formula of $C_{14}H_{22}N_2O$, molecular weight of 234.33, and it is not soluble in water. Whereas lidocaine hydrochloride has a molecular formula of $C_{14}H_{23}ClN_2O \cdot H_2O$, a molecular weight of 288.8 and it is well soluble in water.

Results and Discussion

Emulsion as a transdermal delivery system

The droplet sizes of the prepared emulsions were measured by different methods. The results are shown in Tab. 4. It can be seen that the mean droplet sizes are different which may be due to the fact that the measu-

ring principles are not the same. However, the data may comparable. The in vitro skin permeation profile of emulsion containing 10 % ibuprofen is shown in Fig. 1. The release of ibuprofen was in the steady state after about 70 h.

	Mean droplet sizes of the emulsion (µm)			
Emulsion Code	**S1**	**S2**	**S3**	**S4**
Light scattering particle sizer	6.242 ± 5.255	7.129 ± 4.156	6.502 ± 3.915	7.155 ± 3.953
Light microscopy	4.822 ± 1.400	4.954 ± 1.713	4.880 ± 0.264	4.792 ± 0.543
UV/VIS Spectroscopy	4.035 ± 0.038	5.304 ± 0.868	4.773 ± 0.354	4.768 ± 1.210

Tab. 4: Droplet sizes of the emulsions. Each point represents the mean + S.D. of three to thirty measurements.

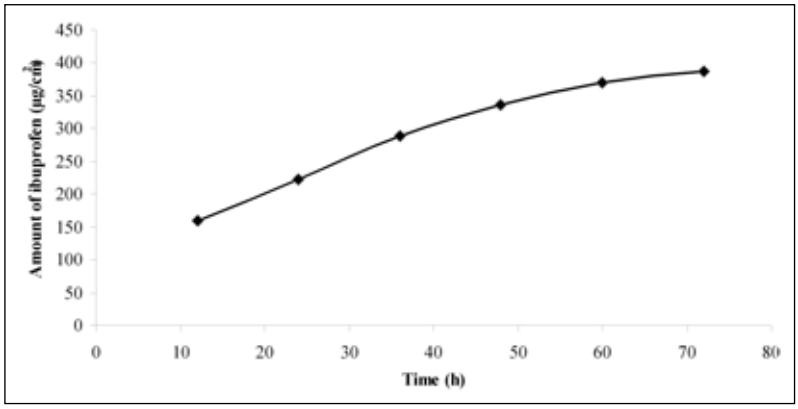


Fig. 1: Permeation profile of emulsion code S4 (10% ibuprofen). Each point represents the mean ± S.D. of three to five experiments.

Emulsion as an oral drug delivery system

Emulsions of different formulations were prepared and they have different droplet sizes. The smallest sizes were received from formulations containing chloroform (Tab. 5). In general, the increase of the pectin-concentration affected the reduction of the droplet sizes of the emulsion both from chloroform and from Miglyol 812 (Tab. 5 and Fig. 2). The instability of emulsions can be observed by monitoring the phase separation process during storage (Fig. 3).

Concentration of Pectin (%)	Pectin cu201		Pectin cu020		Pectin cu701	
	No drug	**Itraconazole**	**No drug**	**Itraconazole**	**No drug**	**Itraconazole**
1.00	4.75±1.56	1.75±0.55	cannot prepare		8.38±1.53	3.84±0.73
1.50	8.75±1.67	1.50±0.67	5.07±0.86	2.88±0.85	5.82±1.10	1.13±0.24
2.00	3.50±2.22	1.50±0.43	5.35±1.10	1.61±0.45	6.85±1.58	1.35±0.36
3.00	1.5±0.43	N/A	6.19±1.38	1.87±0.76	9.38±2.17	1.26±0.39

Tab. 5: Droplet sizes measured by a light microscope of the emulsions containing itraconazole, pectin and chloroform. Each point represents the mean ± S.D. (µm) of fifty drops.

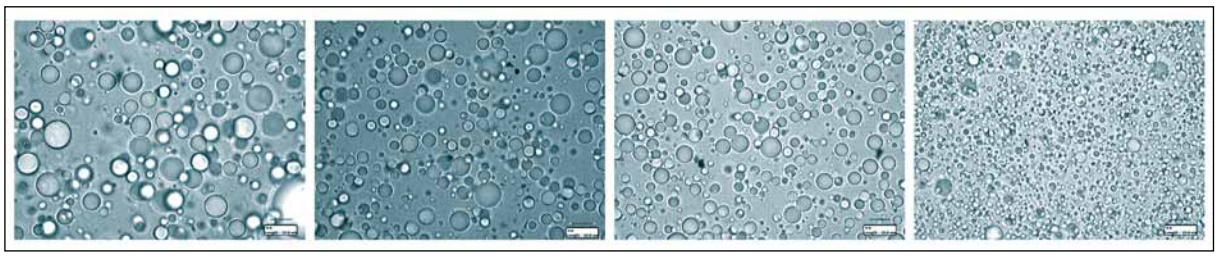


Fig. 2: Light microscopic pictures of emulsions containing pectin CU201, Miglyol 812 and different amounts of pectin (1.0, 1.5, 2.0, 3.0 %w/w from the left).

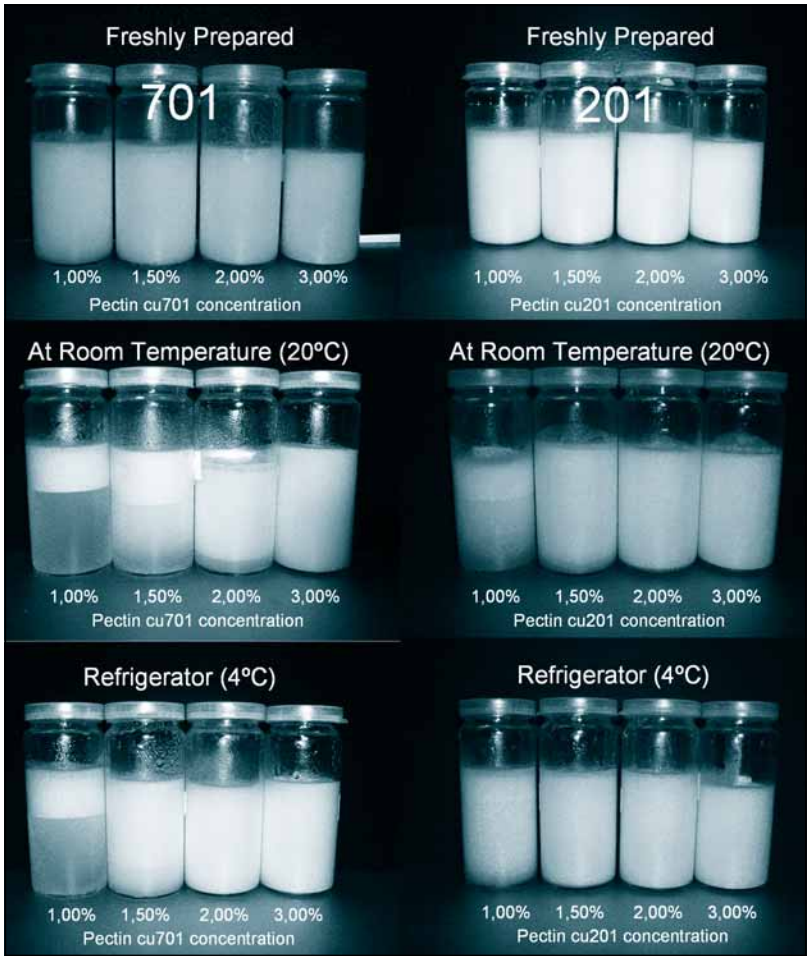


Fig. 3: Stability of emulsions containing pectins and itraconazole at different storage conditions.

Emulsion as a systemic drug delivery system

The emulsions prepared from Miglyol 812, different types of pectin, different types of surfactant and lidocaine show different durations of stability and sizes. Some of the results are shown in Table 6. However, the data show that it is possible to prepare the stable emulsion with the small droplet size in micrometer. The most suitable stabilizer for lidocaine HCl should be pectin CU701. Emulsions of lidocaine HCl were more stable than lidocaine base.

Emulsion Code	Drug	Minimum duration of stability [days]
P201LHCl1	Lidocaine HCl	1
P701LHCl1	Lidocaine HCl	5
P201T80LHCl1	Lidocaine HCl	1
P701T80LHCl1	Lidocaine HCl	26
P201P188LHCl1	Lidocaine HCl	1
P701P188LHCl1	Lidocaine HCl	36
P201P188L3	Lidocaine Base	1
P701P188L3	Lidocaine Base	1

Tab. 6: Examples of lipid emulsions containing two types of lidocaine, pectins (P201=CU201, P701=CU701) and surfactants (T80= Tween 80, P188= Poloxamer 188).

Conclusion

The results show that the emulsions containing different drugs (hydrophilic and hydrophobic) can be successfully prepared with different stabilities. Protein and biopolymer act as a good stabilizer for the emulsions. The resulted emulsions can be used for different purposes. The next step is to determine the bioavailability by performing permeation studies and the release of drug from the emulsions.

Literature

[Mol 01] Molema, G.; Meijer, D.K.F. (Eds) (2001): Drug Targeting, Wiley-VCH, Weinheim.

[Saa 88] Saag M.S. and Dismukes W.E. (1988): Azole antifungal agents: Emphasis on new triazoles, Antimicrobial Agents and Chemotherapy, 32(1): 1-8.

[Guo 98] Guo J.H.; Skinner G.W.; Harcum W.W.; Barnum P.E.(1998): Pharmaceutical application of naturally occurring water-soluble polymers, Pharmaceutical Science & Technology Today, 1: 254-261.

[Akh 02] Akhtar M.; Dickinson E.; Mazoyer J.; Langendorff V. (2002): Emulsion stabilizing properties of depolymerized pectin, Food Hydrocolloids, 16: 249-256.

[Kub 04] Kubo W.; et al. (2004): Oral sustain delivery of ambroxol from in situ-gelling pectin formulations, International Journal of Pharmaceutics, 271: 233-240.

[Ito 07] Itoh K.; et al. (2007): In situ gelling pectin formulations for oral drug delivery at high gastric pH, International Journal of Pharmaceutics, 335(1-2): 90-96.

[Wei 08] Wei H.; et al. (2008): Study on colon-specific pectin/ethylcellulose film-coated 5-fluorouracil pellets in rats, International Journal of Pharmaceutics, 348(1-2): 35-45.

[Thi 08] Thirawong N.; Thongborisute J.; Takeuchi H.; Sriamornsak P. (2008): Improved intestinal absorption of calcitonin by mucoadhesive delivery of novel pectin–liposome nanocomplexes, Journal of Controlled Release, 125(3): 236-245.

[Mül 04] Müller, M.; Mackeben, S.; Müller-Goymann, C.C. (2004): Physicochemical characterisation of liposomes with encapsulated local anaesthetics, International Journal of Pharmaceutics 274, 139-148.

Acknowledgement

The authors would like to thank Ms. K. Geißler and Mr. U. Heckötter for experimental help and the data-analysis as well as the financial support from the German Academic Exchange Service (DAAD) and the University Mobility in Asia and the Pacific (UMAP).

Contact

Prof. Dr. Mont Kumpugdee Vollrath
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 2239
E-Mail: vollrath@beuth-hochschule.de

Cooperation

- Deutsches Elektronen-Synchrotron (DESY), Notkestraße 85, 22607 Hamburg, http://zms.desy.de, Dr. Stephan V. Roth
- Helmholtz Centre Berlin for Materials and Energy GmbH, Albert-Einstein-Strasse 15, 12489 Berlin, http://www.bessy.de, Dr. Ivo Zizak, Dr. Armin Hoell
- Silpakorn University, Department of Pharmaceutical Technology, Sanamchandra Palace Campus, Muang, Nakhon Pathom, Thailand, http://www.pharm.su.ac.th, Ass. Prof. Dr. Tanasait Ngawhirunpat, Ass. Prof. Pornsak Sriamornsak

Spieltheoretische Analyse der Machtverhältnisse im Rat der Europäischen Union

Dipl-Math. (FH) Kevin Schwarzer, Prof. Dr. Karl-Michael Ortmann
Forschungsschwerpunkt: Wirtschaftsmathematik

Kurzfassung

Wir untersuchen in dieser Arbeit die Machtverhältnisse in einem der zwei Legislativorgane der EU, dem Rat der Europäischen Union, auch Ministerrat genannt. Zu diesem Zweck werden die geltenden Abstimmungsregeln eingehend erläutert. Anschließend werden vier Lösungskonzepte – Shapley-Wert, Banzhaf-Index, Deegan-Packel-Index, Public-Goods-Index – zur Darstellung der Machtverteilung erläutert. Darauf aufbauend wird die Abstimmungsstärke jedes einzelnen Landes berechnet und die Machtverteilung insgesamt diskutiert.

Abstract

In this paper we analyse the distribution of power in the Council of the European Union. To begin with, we discuss the voting rules in detail. Furthermore, we consider four solution concepts for voting games, the Shapley-value, the Bazhaf-index, the Deegan-Packel-index, and the Public-Goods-index. As a consequence, we are able to measure the voting power of each member state.

Einleitung

Die Europäische Union (EU) ist ein aus derzeit 27 Staaten bestehender Staatenverbund. Die Legislative wird durch das Europäische Parlament (EP) sowie den Rat der Europäischen Union, kurz Rat genannt, ausgeübt.
Die aktuell 785 Mitglieder des Parlaments organisieren sich entsprechend ihrer politischen Einstellung in gegenwärtig sieben Fraktionen. Die nächsten Wahlen zum EP finden im Juni 2009 statt.
Der Rat der Europäischen Union ist die Interessenvertretung der Mitgliedsstaaten in der EU. Er wird oft mit dem Europarat verwechselt; jener ist jedoch lediglich ein beratendes Gremium, das keine eigenständigen Machtbefugnisse besitzt.
Der Rat wird aufgrund seiner Zusammensetzung auch Ministerrat genannt, da für die entsprechenden Debatten nur die Staatsminister des jeweiligen Ressorts teilnehmen. Jeder dieser Minister erhält von seiner Regierung die Legitimation im Namen seines Landes zu verhandeln, beziehungsweise über Gesetzentwürfe abzustimmen. Die Abstimmungsregeln werden im Folgenden genauer erläutert.
Im Rat der Europäischen Union gibt es drei Möglichkeiten über Gesetze oder Beschlüsse abzustimmen: die Einstimmigkeit, die einfache Mehrheit und die qualifizierte Mehrheit. Die Regeln für eine einstimmige Entscheidung des Rates werden in Artikel 23 Absatz 1 des Vertrages über die Europäische Union (VEU) aufgeführt.
Bei einstimmigen Abstimmungen müssen alle Mitgliedsstaaten für den Entwurf stimmen, damit er angenommen wird. Sollte sich mehr als ein Drittel der Länder enthalten, gilt der Entwurf als abgelehnt. Diese Abstimmungsmethode wird hauptsächlich in zentralen und damit für die einzelnen Länder wichtigen politischen Bereichen, wie bei Steuern, sozialer Sicherheit und dem Finanzrahmen der EU angewendet.
Bei der einfachen Mehrheit erhält jedes Land genau eine Stimme. Ein Beschluss kommt nur zustande, wenn die Mehrheit der Länder für ihn stimmen. Diese Art der Abstimmung ist im Artikel 23 Absatz 3 des VEU geregelt. Anwendung findet die einfache Mehrheit aber lediglich bei Abstimmungen über Verfahrensfragen.
Die qualifizierte Mehrheit nach Artikel 23 Absatz 2 im VEU umfasst die Mehrheit der Mitglieder, zurzeit 14 von 27 sowie eine im Artikel 205 im Vertrag zur Gründung der Europäischen Gemeinschaft festgelegte Mehrheit der Stimmen, zurzeit 258 von 345. Auf der Grundlage des Vertrags von Nizza ist die Verteilung der insgesamt 345 Stimmen auf die einzelnen Staaten nach der Bevölkerungszahl vorgenommen worden, wobei kleinere Länder proportional bevorzugt worden sind. Als zusätzliche Abstimmungshürde kann unter gewissen Voraussetzungen verlangt werden, dass die Befürworter des Entwurfs mindestens 62% der Bevölkerung der Europäischen Union repräsentieren.
Ein Kritikpunkt an der Abstimmung durch qualifizierte Mehrheit ist die Komplexität dieser Regeln. Der noch nicht ratifizierte Vertrag von Lissabon sieht vor, dass das Abstimmungsverfahren im Ministerrat vereinfacht wird. In diesem Zusammenhang wurde speziell von einigen mittelgroßen Ländern gefordert, die Stimmenverteilung nach der Quadratwurzel der Bevölkerung zu vergeben. Wir werden auf diese Variante im Rahmen der Auswertung zurückkommen.

Mathematische Modellierung

Im mathematischen Sinn besteht ein Abstimmungsspiel Γ aus einer nicht-leeren Spielermenge N sowie einer charakteristischen Funktion $v:2^N \to \{0,1\}$, die jeder Teilmenge $K \subseteq N$ den Wert 0 oder 1 zuordnet. Ist $v(K)=1$, so bedeutet diese Festlegung, dass die Koalition K die Abstimmung gewinnt. Die Abstimmungsregeln definieren den Wert der charakteristischen Funktion für jede mögliche Menge von Spielern.
Das Abstimmungsspiel der qualifizierten Mehrheit im Ministerrat definieren wir wie folgt: Die Spielermenge $N=\{1,\cdots,27\}$ besteht aus den 27 Mitgliedsstaaten der EU. Jede beliebige Staatenkoalition K lässt sich durch einen Vektor $\vec{\chi} \in \mathbb{R}^{27}$ darstellen, dessen Komponenten jeweils 1 oder 0 sind. Die Eins in der i-ten Komponente bedeutet die Teilnahme des Staates i an der gegebenen Koalition K. Ferner sei $\vec{p} \in \mathbb{R}^{27}$ der Vektor der durch Eurostat [Eur 08] ermittelten aktuellen
Bevölkerungszahlen der einzelnen Staaten. Schließlich sei $\vec{s} \in \mathbb{R}^{27}$ der Vektor der Stimmen gemäß dem Vertrag von Nizza. Dann ist $v(K)=1$ genau dann, wenn

1) $\sum_{i=1}^{27} x_i \geq 14$ Mehrheit der Mitglieder

2) $\langle \vec{x}, \vec{s} \rangle \geq 258$ Mehrheit der Stimmen

3) $\langle \vec{x}, \vec{p} \rangle \geq 62\% \sum_{i=1}^{27} p_i$ Mehrheit der Bevölkerung

gegeben ist. Es gilt nun, die insgesamt mehr als 134 Millionen möglichen Koalitionen genauer zu untersuchen. Das Ziel ist die Zuordnung der Verhandlungsstärke zu jedem der 27 Spieler in dem Abstimmungsspiel der qualifizierten Mehrheit.
Ein Machtverteilungsindex ist eine Abbildung, die jedem Abstimmungsspiel $\Gamma=(N,v)$ einen so genannten Lösungsvektor $\Phi(\Gamma) \in \mathbb{R}^N$ zuordnet. Die i-te Komponente des Lösungsvektors entspricht dem Anteil der Macht des Spielers i Sinnvollerweise wird meistens Effizienz gefordert: Die gesamte Macht, das heißt, die Summe über alle Komponenten des Lösungsvektors, ist gleich Eins, also hundert Prozent.
Die im Folgenden dargestellten Lösungskonzepte, der Shapley-Wert, der Banzhaf-Index, der Deegan-Packel-Index und der Public-Goods-Index stellen nur eine Auswahl aus dem umfangreichen Angebot der Machtindices dar. Die Lösungen unterscheiden sich nicht nur im Ergebnis sondern insbesondere in ihren Eigenschaften und in ihren Charakterisierungen beziehungsweise Axiomatisierungen.
Die Vielfalt der möglichen Lösungen mag einen Naturwissenschaftler zunächst überraschen. Doch in den Wirtschaftswissenschaften ist der Begriff der Fairness ein individueller. „Quot capita, tot sententiae“ (wie viele Köpfe, so viele Meinungen) wie ein altes lateinisches Sprichwort sagt.
In diesem Sinne beleuchten verschiedene Lösungskonzepte unterschiedliche Aspekte des Abstimmungsspiels. Es ist also durchaus erwünscht, die Resultate mehrerer Lösungen zu vergleichen, um ein besseres Gesamtbild der Machtstruktur zu erhalten.
In vielerlei Hinsicht gilt der Shapley-Wert als die natürlichste Lösung eines Abstimmungsspiels. Denn es lässt sich eineCharakterisierung angeben, die mathematisch strukturelle Ähnlichkeiten zur klassischen Mechanik aufweist. In diesem Sinn mag die durch den Shapley-Wert vorgeschlagene Lösung eines Abstimmungsspiels als die natürliche Lösung angesehen werden. Die i-te Komponente des Shapley-Werts $\Phi_i^S(\Gamma)$ ist wie folgt definiert:

$$\Phi_i^S(\Gamma) = \sum_{i \in K, K \subseteq N} \frac{(|K|-1)!(|N|-|K|)!}{(|N|)!} \left(v(K) - v(K \setminus \{i\})\right) \quad .$$

Ergebnisse

Wie in der Tabelle zu sehen ist, besitzt Deutschland den höchsten Machtindex, allerdings liegen die nächsten drei Nationen bei allen Indices nahe auf. Alle anderen Nationen bekommen einen ihrer Stimmen und Bevöl-

kerungszahl entsprechenden niedrigeren Machtindex. Es ist klar zu erkennen, dass einige Länder in ihrer Machthöhe sehr nahe beieinander liegen. Diese Gruppen entstehen durch die Stimmenverteilung im Rat. Länder mit gleicher Stimmenanzahl liegen dem Machtwert zur Folge nahe beieinander.
Im Grunde kann der Unterschied zwischen Shapley-Wert und Banzhaf-Index auf der einen Seite und dem Public-Goods-Index und Deegan-Packel-Index auf der anderen Seite durch die Berechnungsweise erklärt werden. Die beiden erstgenannten Indices benutzen alle möglichen Gewinnkoalitionen, die anderen nur die Minimumgewinnkoalitionen. Die beiden letztgenannten Indices verzichten auf die Betrachtung solcher Koalitionen, bei denen nicht alle Spieler zur Erreichung des Abstimmungssieges nötig sind.

			Machtindices			
Land	**Bevölkerung**	**Stimmen**	**Shapley-Wert**	**Banzhaf-Index**	**Deegan-Packel-Index**	**Public-Goods-Index**
D	82.314.906	29	8,69%	7,71%	4,91%	4,85%
F	63.392.140	29	8,68%	7,71%	4,91%	4,85%
GB	60.852.828	29	8,67%	7,71%	4,91%	4,85%
I	59.131.287	29	8,67%	7,71%	4,91%	4,85%
E	44.474.631	27	8,00%	7,37%	4,79%	4,73%
PL	38.125.479	27	7,99%	7,37%	4,79%	4,73%
RO	21.565.119	14	3,99%	4,28%	3,85%	3,84%
NL	16.357.992	13	3,69%	3,99%	3,78%	3,77%
GR	11.171.740	12	3,40%	3,71%	3,70%	3,69%
P	10.599.095	12	3,40%	3,71%	3,70%	3,69%
B	10.584.534	12	3,40%	3,71%	3,70%	3,69%
CZ	10.287.189	12	3,40%	3,71%	3,70%	3,69%
H	10.066.158	12	3,40%	3,71%	3,70%	3,69%
S	9.113.257	10	2,81%	3,11%	3,53%	3,54%
A	8.298.923	10	2,81%	3,11%	3,53%	3,54%
BG	7.679.290	10	2,81%	3,11%	3,53%	3,54%
DK	5.447.084	7	1,96%	2,20%	3,28%	3,31%
SK	5.393.637	7	1,96%	2,20%	3,28%	3,31%
FIN	5.276.955	7	1,96%	2,20%	3,28%	3,31%
IRL	4.314.634	7	1,96%	2,20%	3,28%	3,31%
LT	3.384.879	7	1,96%	2,20%	3,28%	3,31%
LV	2.281.305	4	1,12%	1,26%	3,01%	3,06%
SLO	2.010.377	4	1,12%	1,26%	3,01%	3,06%
EST	1.342.409	4	1,12%	1,26%	3,01%	3,06%
CY	778.684	4	1,12%	1,26%	3,01%	3,06%
L	476.187	4	1,12%	1,26%	3,01%	3,06%
M	407.810	3	0,83%	0,95%	2,58%	2,63%
EU	495.128.529	345	100,00%	100,00%	100,00%	100,00%

Abb. 1: Bevölkerung, Stimmen und relative Macht der EU-Mitgliedsstaaten im Ministerrat

Betrachtet man den Quotienten aus Bevölkerung und Stimmenzahl, so sinkt dieser Wert mit fallender Bevölkerungszahl. Für Deutschland zum Beispiel vertritt eine Stimme des Rates 2.838.445 Menschen, bei Malta hingegen sind es nur 135.937 Einwohner.
Ausnahmen dieser Monotonie finden sich bei Polen, Ungarn, Bulgarien, Litauen und Luxemburg. Bei diesen Ländern ist der Quotient kleiner als der ihres Nachfolgers in der Tabelle. Man könnte deshalb die Meinung vertreten, sie besitzen zu viele Stimmen in Bezug auf ihre Bevölkerung und im Vergleich mit dem nächst kleineren Land.
Die vier großen Länder der EU sind durch die Stimmen tendenziell unterrepräsentiert. Zusammengenommen machen sie 54% der Bevölkerung aus, besitzen aber nur 34% der Stimmen und 35% der Macht gemäß dem Shapley-Wert, beziehungsweise 19% nach dem Public-Goods-Index. Die Festlegung der Stimmenzahl ist also wesentlich für die Abstimmungsstärke.

Ob die Stimmenanzahl anders festgelegt werden sollte, kann nur durch die Analyse von Machtindices zufrieden stellend evaluiert werden. So würde sich zum Beispiel für Polen eine Reduktion der Macht von 8% auf 6,4% gemäß dem Shapley-Wert ergeben, wenn die Gesamtzahl der Stimmen direkt proportional zur Quadratwurzel der Bevölkerung verteilt würde.

Zusammenfassung

Es bleibt festzuhalten, dass die Machtverteilung maßgeblich durch die Stimmenanzahl bestimmt wird. Innerhalb der Länder mit gleicher Stimmenzahl führt die Bevölkerungszahl zu einer weiteren Diversifizierung. Die Entscheidung über die Stimmenanzahl der Länder ist eine politische, um kleinere Länder für die Idee eines geeinten Europas zu gewinnen. Die derzeitige Stimmenverteilung auf der Grundlage des Vertrags von Nizza ist wohl nicht endgültig. Bevor eine Änderung der Abstimmungsregeln oder der Stimmenverteilung beschlossen wird, könnte es sinnvoll sein, eine spieltheoretische Analyse der implizierten Machtverhältnisse vorzunehmen.

Literatur

[Eur 08] Eurostat (2008): Statistisches Amt der Europäischen Gemeinschaften URL: http://epp.eurostat.ec.europa.eu/extraction/evalight/EVAlight.jsp?A=1&language=de&root=/theme3/dem 0/demo_pjan [Stand: 21.08.2008].

[Hol 06] Holler, M.J.; Illing, G. (2006): Einführung in die Spieltheorie, 6. Auflage, Springer.

[Läu 04] Läufer, T (2004): Vertrag von Nizza, die EU der 25, 1. Auflage, Bundeszentrale für politische Bildung, Bonn.

[Nap 06] Napel, S.; Widgren, M. (2006): The inter-institutional distribution of power in EU co-decision, Social Choice and Welfare 27, pp. 129-154.

Kontakt

Prof. Dr. Karl-Michael Ortmann
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 5126
E-Mail: ortmann@beuth-hochschule.de

Simulation der Schallausbreitung über einer Impedanzebene mit Hilfe der Boundary-Element-Method

Dipl.-Ing. Haike Brick, Prof. Dr.-Ing. Martin Ochmann
Forschungsschwerpunkt: Computational Acoustics

Kurzfassung

Die Boundary-Element-Method (Bem) ist ein sehr leistungsfähiges Verfahren zur Simulation von Schallabstrahlung und Schallstreuung. In realen Situationen ist das Schallfeld durch Berandungen des dreidimensionalen Raumes beeinflusst, seien es die Wände eines Raumes oder der Boden im Falle einer Freifeldsituation. In Laboruntersuchungen kann eine solche Freifeldsituation näherungsweise erreicht werden, wenn die Wände absorbierend verkleidet werden, ein fester Boden aber aus Stabilitätsgründen notwendig ist. Um eine Diskretisierung des Bodes zu vermeinden, muss eine passende Greensche Funktion in die Bem eingebunden werden, welche die Randbedingung auf dem Boden automatisch erfüllt. In der vorliegenden Arbeit wird die erfolgreiche Implementierung einer geeigneten Greenschen Funktion vorgestellt. Es kann gezeigt werden, dass diese Erweiterung der klassischen Bem die Berechnung eines Schallfeldes über einer sogenannten Impedanzebene mit sehr hoher Genauigkeit und einem angemessenen Rechenaufwand ermöglicht. Die Arbeiten sind in das Projekt „Modellierung der Schallabstrahlung von Flammen mit akustischen Ersatzstrahlern“ der DFG-Forschergruppe „Verbrennungslärm“ eingebunden.

Abstract

The Boundary-Element-Method (Bem) is a powerful tool for the simulation of sound radiation and scattering. In real situations the three-dimensional sound field is influenced by domain boundaries as walls or the ground. In laboratories a free field situation can be nearly reproduced, if the walls are paneled with acoustically absorbent material, but a hard floor is necessary for stability. In order to avoid a discretisation of the floor, an appropriate Green's function has to be incorporated into the Bem formulation, which automatically fulfills the boundary conditions of the floor. In the present paper, the successfull implementation of a suitable Green's function is discussed. It can be shown that the presented extension of the classical Bem allows the simulation of the sound field above an impedance plane with very high accuracy and within an adequate computing time.

Einleitung

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Berechnung eines abgestrahlten Schallfeldes mit Hilfe der Boundary-Element-Method. Die Schallquelle ist eine schwingende Struktur, welche sich über einer unendlichen Ebene befindet. Die Ebene teilt den unbegrenzten dreidimensionalen Raum in zwei Halbräume und ist durch ihre akustische Impedanz gekennzeichnet. In ihrer klassischen Form wurde die Bem für den unbegrenzten Raum entwickelt, sie ist jedoch ebenfalls problemlos für Lösungen im Halbraum erweiterbar, solange der Halbraum durch eine perfekt schallharte (z.B. alter Asphalt) bzw. schallweiche Ebene (z.B. Übergang Wasser/Luft vom Wasser aus gesehen) begrenzt wird. In [Och 04] wurde eine Greensche Funktion zur Beschreibung der Schallausbreitung über einer beliebigen Impedanzebene vorgestellt, die auf der Superposition von Quellen mit komplexen Quellpunkten beruht und geeignet ist, in eine Bem-Anwendung implementiert zu werden. Mit dieser Formulierung ist es möglich, auch die Wirkung von Böden endlicher Impedanz, wie sie reale Böden darstellen (z.B. Grassboden, Mineralwolleauflagen), innerhalb der Bem zu berücksichtigen. In der vorliegenden Arbeit wird die numerische Auswertung und Einbindung dieser Greenschen Funktion in eine direkte Bem präsentiert, eine Testkonfigurationen zur Verifizierung der entwickelten Cbem vorgestellt und die Effizienz und Güte des Verfahrens anhand eines beispielhaften Anwendungsfalles untersucht.

Theorie

Die Bem beruht auf der Helmholtz-Integral-Gleichung

$$C(\vec{x})p(\vec{x}) = \int_{S_Q} \left(p(\vec{y}) \frac{\partial g(\vec{x},\vec{y})}{\partial n(\vec{y})} - \frac{\partial p(\vec{y})}{\partial \vec{n}(\vec{y})} g(\vec{x},\vec{y}) \right) dS_y \qquad (1)$$

Nach (1) ist der Schalldruck in einem Punkt $\vec{x}$, $p(\vec{x})$ vollständig durch das Integral über den Druck $p(\vec{y})$ und seine Normalableitung $\partial p(\vec{y})/\partial n(\vec{y})$ auf der Oberfläche S_Q bestimmt. Bei Außenraumproblemen beschreibt S_Q gerade die Ränder der schwingenden und/oder reflektierenden Strukturen, die sich im Rechengebiet befinden. Der Faktor $C(\vec{x})$ ist abhängig von der Lage von $\vec{x}$ im Rechengebiet. Die Greensche Funktion $g(\vec{x},\vec{y})$ ist das eigentliche Herzstück der BEM und beschreibt die Schallausbreitung zwischen Sendepunkt $\vec{y} = (x_s, y_s, z_s)$ und Empfangspunkt $\vec{x} = (x, y, z)$. Eine ausführliche Darstellung der theoretischen Grundlagen der BEM ist in [Wu 00] zu finden.
In [Och 04] wurde eine Greensche Funktion vorgestellt, die einerseits die Impedanzrandbedingung auf der Ebene erfüllt und andererseits sowohl für einen Masse- als auch einen Federcharakter der Impedanzebene und für alle Anordnungen von $\vec{x}$ und $\vec{y}$ im Raum konvergiert (mit $\vec{x} \neq \vec{y}$):

$$G(\vec{x},\vec{y}) = \frac{e^{-jkr(z_s)}}{4\pi r(z_s)} + \frac{e^{-jkr(-z_s)}}{4\pi r(-z_s)} + \frac{j\gamma}{2\pi}\int_{-\infty}^{0} \frac{e^{-jk\sqrt{\rho^2+(z+z_s+j\varsigma)^2}}}{\sqrt{\rho^2+(z+z_s+j\varsigma)^2}} e^{-j\gamma\varsigma}\, ds \qquad (2)$$

mit $r(z_s) = \sqrt{(x-x_s)^2+(y-y_s)^2+(z-z_s)^2}$. ρ ist der horizontale Abstand zwischen $\vec{x}$ und $\vec{y}$, $\rho = \sqrt{(x-x_s)^2+(y-y_s)^2}$. Der Wert γ ergibt sich aus der normierten Impedanz der Ebene Z_0, $\gamma = jk/Z_0$ mit $Z_0 = Z_p/(\rho_0 c_0)$. Zp ist die Impedanz der Ebene, $\rho_0 c_0$ die Impedanz des umgebenen Fluids. $k = \omega/c_0$ ist die Wellenzahl, die Zeitkonvention ist $e^{j\omega t}$. Eine ausführliche Darstellung der Theorie ist in [Och 04] und [Mar 08] zu finden.

Numerische Auswertung

Die Schwierigkeit besteht in der Bestimmung des uneigentlichen Integrales in (2), welches durch die Welligkeit des Integranden und eine möglichen Nadelspitze bei $\varsigma \approx -\rho$ eine sorgfältige und mithin aufwändige Auswertung erfordert. Eine sehr zuverlässige Methode ist die adaptive Multigrid-Quadratur, die in [Deu 93] vorgestellt wurde. Sie setzt allerdings eine Festlegung einer geeigneten unteren Intervalgrenze des Integrals voraus. In manchen Fällen, für $\mathrm{Im}(\gamma) > 1$, lässt sich die Gauss-Laguerre-Quadratur [Kry 62] anwenden, was zu einer deutlichen Beschleunigung der Berechnung führt.

Testfall – senkrechter Schalleinfall

Die erfolgreiche Implementation der Greenschen Funktion in eine direkte Bem-Anwendung soll anhand des folgenden Testfalles dargestellt werden. Für den Fall, dass Sende- und Empfangspunkt senkrecht übereinander liegen, existiert eine exakte Lösung für (2)

$$G_{\mathrm{exakt}}(\vec{x},\vec{y}) = G_0(\vec{x},\vec{y}) - \frac{jk}{2\pi Z_0} e^{jk\,(z+z_s)/Z_0} E_1\left(jk\,(z+z_s)\left(1+\frac{1}{Z_0}\right)\right) \qquad (3)$$

Gleichung (3) kann für Feldpunkte weit oberhalb der Impedanzebene zu einer „ebenen Welle“ – Approximation vereinfacht werden:

$$G_{\mathrm{plane}}(\vec{x},\vec{y}) = \frac{e^{-jkr(z_s)}}{4\pi r(z_s)} + \frac{Z_0-1}{Z_0+1}\frac{e^{-jkr(z_s)}}{4\pi r(z_s)} \qquad (4)$$

Die Geometrie der Testkonfiguration zeigt Abb. 1(a). Eine atmende Kugel befindet sich über einer Impedanzebene mit $\gamma = -1 + 0.5j$, d.h. die Impedanzebene ist mit eine Federcharakteristik ausgezeichnet. Der Kugelmittelpunkt liegt bei $(0, 0, 3\mathrm{m})$, die Wellenzahl sei $k = 1\ \mathrm{m}^{-1}$. Die Feldpunkte liegen auf einer senkrechten Linie unter- und oberhalb des Kugelmittelpunktes bei $\vec{x}_{\mathrm{FP}} = (0, 0, z)$. Die Kugel schwingt mit einer Schnelleverteilung (Schnelle = Schwinggeschwindigkeit auf der Oberfläche), die ihr durch eine virtuelle Monopolquelle in ihrem Mittelpunkt $\vec{y}_{\mathrm{M}}$ aufgeprägt wird. Durch die Anwesenheit der Ebene ist die Kugelschwingung jedoch nicht mehr uniform, sondern muss anhand (2) festgelegt werden, damit die diskrete Struktur das Schallfeld der Monopolquelle ideal weiterträgt ohne es selbst zu beeinflussen. Die Schnelle v_{n} in den Knotenpunkten oder Elementmittelpunkten $\vec{x}$ der diskreten Struktur sind somit durch

$$v_n(\vec{x}) = \frac{j}{\omega\rho_0} A_p \frac{\partial G(\vec{x}, \vec{y}_M)}{\partial \vec{n}_x} \tag{5}$$

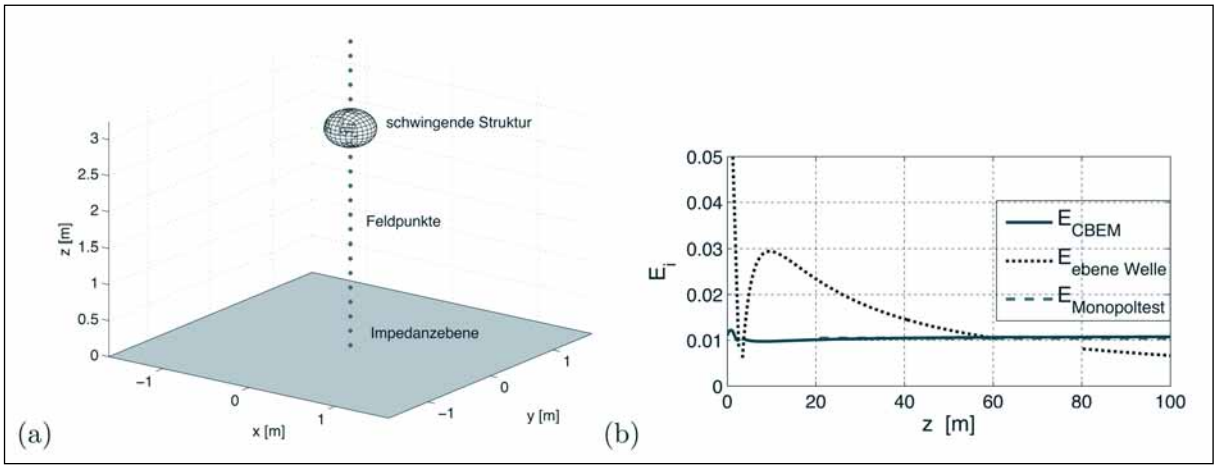


Abb. 1: (a): Schallquelle über einer Impedanzebene, die Feldpunkte liegen auf einer senkrechten Linie mit $\vec{x}_{FP} = (0, 0, z)$. (b): Fehler der CBEM-Lösung und der „ebenen Welle“ – Approximation gegenüber der exakten Lösung für den Schalldruck in den Feldpunkten sowie Monopolfehler.

gegeben. A_p ist hier die Quellstärke der im Inneren der Kugel liegenden Monopolquelle. Diese Schnelle auf der Kugeloberfläche ist die Randbedingung für die CBEM-Simulation des resultierenden Schallfeldes. Über (3) lässt sich aber auch der exakte Schalldruck pexakt in den Feldpunkten bestimmen,

$$p_{\text{exakt}}(\vec{x}_{\text{FP}}) = A_p G_{\text{exakt}}(\vec{x}_{\text{FP}}, \vec{y}_M) \tag{6}$$

Der Fehler E gibt an, wie stark die Lösung für den Feldpunktschalldruck von der exakten Lösung abweicht,

$$E_i = \sqrt{\frac{|p_i(\vec{x}_{\text{FP}}) - p_{\text{exakt}}(\vec{x}_{\text{FP}})|^2}{|p_{\text{exakt}}(\vec{x}_{\text{FP}})|^2}}, \tag{7}$$

mit p_i als Schalldruck an den Feldpunkten aus der „ebenen Welle“ – Approximation bzw. der CBEM-Lösung. Für diesen Testfall wurde die Multigrid-Quadratur innerhalb der CBEM angewendet. Abb. 1(b) zeigt diesen Fehler. Zusätzlich zu ECBEM und EEBENE WELLE ist in Abb. 1(b) auch der Fehler des Monopoltestes EMONOPOL eingetragen, der den allgemeinen Diskretisierungsfehler der numerischen Lösung repräsentiert [Och 02]. Es ist zu sehen, dass der Fehler der CBEM in der Größenordnung des Diskretisierungsfehlers, in diesem Fall bei 1%, liegt. Das heisst, das der Schalldruck in den Feldpunkten hervorragend durch das Modell approximiert wird und die CBEM und die Implementation der Greenschen Funktion (2) damit verifiziert ist. Der „ebene Welle“ – Ansatz führt in der Nähe der Ebene erwartungsgemäß zu einem hohen Fehler, nähert sich aber mit zunehmendem Abstand der Feldpunkte zur Ebene jedoch der exakten Lösung an, womit diese und die CBEM-Lösung eine weitere Bestätigung erhalten. Weitere Testfälle zur Verifikation der CBEM sind in [Bri 08, Mar 08] beschrieben.

Anwendung

Als Anwendungsfall wird die Schallabstrahlung bei $400\ \text{Hz}$ einer atmenden Kugel untersucht, die sich in einem Meter Höhe über einem sehr weichen Boden befindet, d.h. $\vec{y}_M = (0, 0, 1\text{m})$ und $\gamma = -1.41 + \text{j}\,1.66$, siehe Abb. 2(a). Der Schalldruck wird an 100 Feldpunkten ausgewertet (p_{FP}), die sich auf einer horizontalen Linie entlang der x-Achse im Abstand zwischen $0.5\ \text{m}$ und $300\ \text{m}$ von der Quelle, d.h. bei $\vec{x}_{FP} = (\text{x}, 0\text{m}, 1\text{m})$ befinden. Diese Konfiguration wird einerseits mit der CBEM unter Anwendung der adaptiven Multigrid-Quadratur bzw. der Gauss-Laguerre-Quadratur berechnet, andererseits kann eine analytische Lösung mit (2) für p_{FP} bestimmt werden. Weiterhin wurde p_{FP} auch unter Berücksichtigung einer endlichen, diskretisierten Ebene bestimmt. Das erfolgte mit der kommerziellen Software „Virtual.Lab“ und indirekter BEM. Dieses Modell wird in Abb. 2(b) gezeigt, die Kantenlänge der endlichen Ebene ist $6\ \text{m}$.

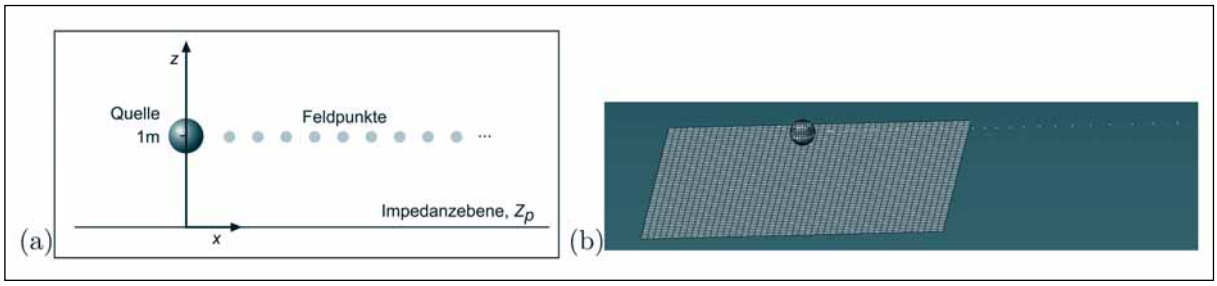


Abb. 2: (a): Atmende Kugel über einer Impedanzebene, die Feldpunkte befinden sich auf einer horizontalen Linie mit variablem x bei $\vec{x}_{FP} = (x, 0\text{m}, 1\text{m})$. (b): Dieselbe Konfiguration mit einer endlichen, diskretisierten Ebene.

Abb. 3 zeigt den Fehler der verschiedenen Berechnungsmethoden nach (7). Die CBEM-Lösungen bilden den Schalldruck an den Feldpunkten p_{FP} sehr gut ab, sowohl unter Anwendung der Multigrid-Quadratur (ECBEM _mlquad) als auch unter Anwendung der Gauss-Laguerre-Quadratur (ECBEM_GL). Mit der endlichen Ebene können für p_{FP} keine zufriedenstellenden Ergebnisse erzielt werden. Insbesondere außerhalb der Ebene, für $x_{FP} > 3$ m, wird die Abweichung zur exakten Lösung enorm.
Die Rechenzeiten, die für verschiedenen Lösungen benötigt werden, zeigt Tab. 1. Alle Berechnungen wurden auf einem Desktop PC mit Intel Pentium D Dualcore, 3.20 GHz, ausgestattet mit 2.00 GB RAM und OS Windows XP, durchgeführt. BEMLAB ist der von uns erstellte Matlab-basierte BEM-Code, der in [Mar 08] beschrieben ist. Die Multigrid-Quadratur (CBEM-MLQUAD) des Integralterms in (2) benötigt eine verhältnismäßig lange Rechenzeit. Momentan ist die CBEM in Verbindung mit der Gauss-Laguerre-Quadratur (CBEM-GL) der erfolgreichste Ansatz hinsichtlich der Güte und Geschwindigkeit der BEM-Simulation.

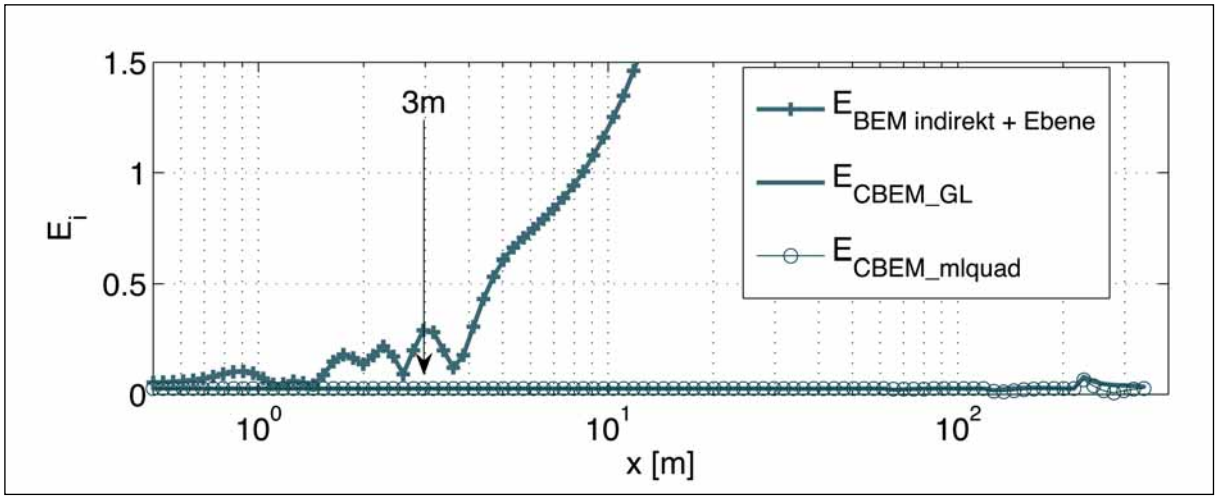


Abb. 3: Fehler der Cbem-Lösungen und der Lösung der indirekten Bem mit endlichem Ebenenmodell für den Schalldruck an den Feldpunkten p_{FP}

Methode	Software	Rechenzeit
CBEM-mlquad	BEMLAB	4 h
CBEM-GL	BEMLAB	0.5 min
indirekte BEM, 6 × 6m	Virtual.Lab	5 min

Tab. 1: Benötigte Rechenzeiten der verschiedenen Berechnungsmethoden.

Zusammenfassung

Eine Greensche Funktion, die die Schallausbreitung über realen Böden beschreibt, wurde erfolgreich in eine direkte BEM-Anwendung implementiert. Durch die Eigenschaften der verwendeten Greenschen Funktion sind keine Einschränkungen für die Gültigkeit der resultierenden CBEM gegeben. Es sind Ebenen mit Massen- sowie Federcharakter erlaubt als auch senkrecht übereinander liegende Sende- und Empfangspunkte, wie der vorgestellte Testfall zeigt. Die Auswertung des Integralterms der Greenschen Funktion ist numerisch sehr aufwändig. Mit der Gauss-Laguerre-Quadratur ist es jedoch möglich, die Rechenzeiten für die Bem-Simulation

gering zu halten, ohne die hohe Genauigkeit der Berechnung herabzusetzen. Insgesamt stellt die vorgestellte CBEM einen deutlichen Gewinn gegenüber bisherigen BEM-Lösungen für Halbräume dar.

Acknowledgements

The authors gratefully acknowledge the financial support of the German Research Foundation (DFG) through the research unit FOR 486 Combustion Noise.

Literatur

[Bri 08] Brick, H.; Ochmann, M. (2008): A half-space BEM for the simulation of sound propagation above an impedance plane. Proc. of Acoustics '08 - Paris, France.

[Deu 93] Deuflhard, P.; Hohmann. A. (1993): Numerische Mathematik I – Eine algorithmisch orientierte Einführung. Chapter 9.7. 343-351, de Gruyter, Berlin, New York.

[Och 04] Ochmann, M. (2004): The complex equivalent source method for sound propagation over an impedance plane. Journal of the Acoustical Society of America 116, 3304-3311.

[Mar 08] Ochmann, M.; Brick, H. (2008): Acoustical Radiation and Scattering above an Impedance Plane. In: Marburg, S., Nolte, B. (Editoren): Computational Acoustics of Noise Propagation in Fluids. Finite and Boundary Element Methods. Chapter 17, 459-494, Springer-Verlag, Berlin.

[Och 02] Ochmann, M.; Osetrov, A.V. (2002): Construction of analytical solutions for the error estimation of acoustical boundary element solvers. In: Proceedings of the Forum Acusticum, Sevilla, Spain, 1000-1004.

[Kry 62] Krylov, V.I. (1962): Approximate Calculation of Integrals. The Macmillan Company, New York.

[Wu 00] Wu, T.W. (2000): Boundary Element Acoustics: Fundamentals and Computer Codes. WIT Press, Southampton, Boston.

Kontakt

Dipl.-Ing. Haike Brick
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 2992
E-Mail: brick@beuth-hochschule.de

Prof. Dr.-Ing. Martin Ochmann
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 2931
E-Mail: ochmann@beuth-hochschule.de

Detektion von Minen im Frequenzbereich, Projektphasen IV und V

Dipl.-Ing. Ralf Burgschweiger, Prof. Dr.-Ing. Martin Ochmann
Forschungsschwerpunkt: Computational Acoustics

Kurzfassung

Während der Projektphasen I bis III wurden im Rahmen des Forschungsprojekts eine Pre-/Postprozessor-Anwendung (mit 3D-Darstellung) und ein parallel rechnendes Calculator-Modul auf Basis objektorientierter Programmierung entwickelt. Diese ermöglichen numerische Berechnungen im Frequenzbereich für schallharte sowie gekoppelte akustische Probleme unter Berücksichtigung der Fluid-Struktur-Interaktion.
Die Projektphase IV, Fluid-Struktur-Kopplung, umfasste die Implementierung der benötigten Algorithmen aus dem BEM-BEM-Kopplungsverfahren von Nolte [1] und die Integration in das Calculator-Modul. Außerdem wurden weitere direkte und iterative Löser implementiert.
In der Projektphase V, Testrechnungen und Vergleiche, erfolgten die zum Teil sehr zeitaufwändigen Berechnungen von Musterproblemstellungen unter Verwendung der im Rahmen des Projektes beschafften Rechnerausstattung und der Vergleich der erzielten Resultate mit analytischen Ergebnissen aus der Literatur bzw. aus kommerziellen akustischen Anwendungen (z.B. COMSOL Multiphysics/FEMLab, LMS VirtualLab oder MatLab).

Abstract

During the first three phases of the research project a pre-/postprocessor application (with 3-d visualization) and a parallel working calculator-module using object-oriented programming were developed. They support numerical calculations based on the boundary element method (BEM) in the frequency range for rigid and coupled acoustical problems with regard to the fluid-structure interaction.
Phase IV contains the implementation of the required algorithms for the BEM-BEM-coupling method of Nolte [1] and the implementation within the calculator-module. Additionally, more direct and iterative solvers were implemented.
During phase V, occasionally partly time consuming test calculations for sample problems using the available hardware equipment were done. The achieved results were compared with analytical results from literature and external results obtained by the use of commercial software for acoustical problems (i.e. COMSOL Multiphysics /FEMLab, LMS VirtualLab or MatLab).

Einleitung

Numerische Simulationen bilden ein wichtiges Instrument zur Entwicklung, Auslegung und Erprobung von Sonarsystemen und helfen, die notwendigen Parameter von Systemen zu bestimmen und die Leistungsfähigkeit für konkrete Einsatzfälle zu überprüfen.
Hierzu wurde ein Pre-/Postprozessor entwickelt, der mit Hilfe von parallel arbeitenden Berechnungsmodulen, in denen entsprechende Lösungsmethoden und Löser implementiert sind, die Berechnung der akustischen Rückstreustärke auf Basis numerischer Simulationen im Frequenzbereich ermöglicht.
Zum Einsatz der Anwendungsumgebung für schallharte Problemstellungen wurden approximative Lösungsmethoden (Plane Wave Approximation, Kirchhoffsche Näherung) ebenso wie ein auf dem Randelementeverfahren (BEM, boundary element method) basierender direkter Algorithmus implementiert.
Zur Lösung der zugehörigen Gleichungssysteme können sowohl interne als auch externe Löser verwendet werden. Es wurden direkte (Gauß-Pivot, Intel Math Kernel Library) und iterative Lösungsverfahren (GMRES) implementiert und im Hinblick auf Leistungsfähigkeit, Zuverlässigkeit und physikalische Grenzen getestet.
Die entwickelten Module sowie die approximativ ermittelten Ergebnisse für schallharte Probleme wurden bereits in den Forschungsberichten 2006 [2] und 2007 [3] beschrieben.
Um die Interaktion zwischen fluiden und elastischen Strukturen in den numerischen Simulationen berücksichtigen zu können, wurde ein von Nolte [1] beschriebener Algorithmus auf Basis von Randelementeformulierungen (BEM-BEM-Kopplungsverfahren) analysiert, in verwendbaren objektorientierten Code überführt und in das Berechnungsmodul integriert.
Weiterhin wurden die benötigten Rechenschritte im Hinblick auf ihre Parallelisierbarkeit analysiert und der Programmcode entsprechend optimiert. Die hierbei erreichte Performance konnte unter Verwendung von Multi-Core-Systemen bei der Berechnung der Matrixkoeffizienten und der Matrix-Vektor-Produktbildung nahezu linear gesteigert werden.

Die erzielten Ergebnisse, speziell für die Einfach- und Mehrfachkopplung einfacher Strukturen, wurden mit Resultaten analytischer Ansätze sowie mit Berechnungen aus kommerziell verfügbaren BEM- und FEM-Programmen (z.B. MatLAB, FEMLab, VirtualLAB, SysNoise) verglichen.

BEM-BEM-Kopplungsverfahren

Die implementierte Randelement-Koppelmethode ist für alle 3 Kopplungstypen (Fluid/Fluid, Fluid/Solid und Solid/Solid) einsetzbar. Derzeit werden konstante Elemente (mit wählbarer Gaußpunkt-Anzahl) verwendet. Der jeweilige Kopplungstyp pro Element wird aus den Strukturdaten sowie den zugewiesenen Materialparametern ermittelt. Sofern eine Kopplung vorliegt, werden mit Hilfe der zugehörigen Fundamentallösungen auf Grundlage der Transferbedingungen die entsprechenden Koeffizienten der Kopplungsmatrix gebildet, in diesem Fall gibt es keine Randbedingungen.
Für die rechte Seite der Matrix ist der einfallende Druck der vorhandenen Schallquellen zu berücksichtigen.

Fluid-Struktur-Kopplungsvarianten

Das Verfahren soll für unterschiedliche Umgebungsvorgaben einsetzbar sein. Im Wesentlichen handelt es sich um 6 Varianten (p_{inc} = einfallender Schalldruck):

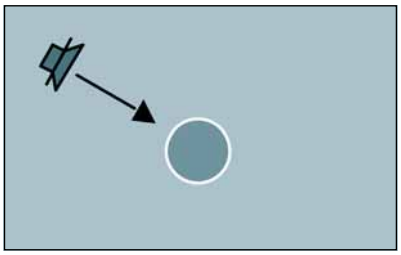


Abb. 1a: I. Vollkörper im fluiden Außenraum (p_{inc} wirkt auf die gesamte Oberfläche)

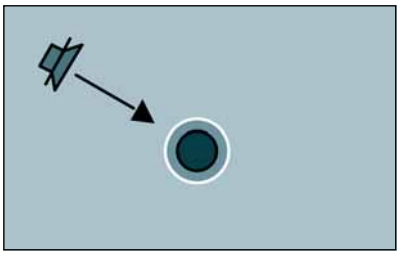


Abb. 1b: II. mit anderem Material gefüllter Körper im fluiden Außenraum (p_{inc} wirkt auf die Oberfläche der Außenschale)

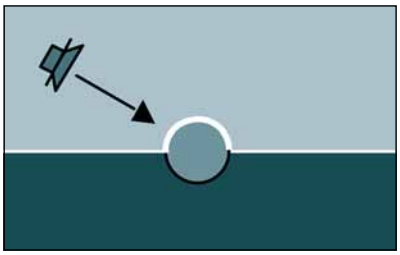


Abb. 1c: III. teilversunkener Vollkörper (p_{inc} wirkt nur auf die zum Außenraum gekoppelten Elemente)

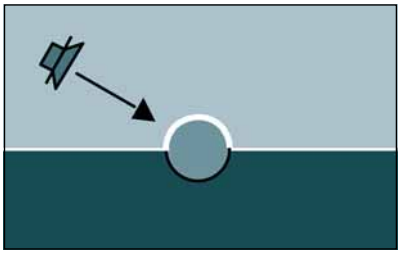


Abb. 1d: IV. teilversunkener, mit anderem Material gefüllter Körper (p_{inc} wirkt nur auf die zum Außenraum gekoppelten Elemente)

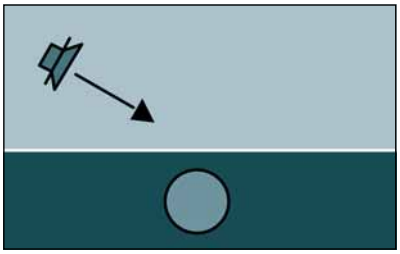


Abb. 1e: V. vollversunkener Vollkörper (p_{inc} wirkt nur auf die Bodenfläche)

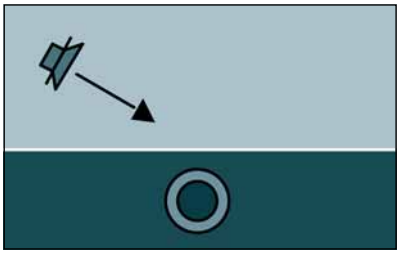


Abb. 1f: VI. vollversunkener, mit anderem Material gefüllter Körper (p_{inc} wirkt nur auf die Bodenfläche)

Zur Überprüfung des Kopplungsverfahrens wurden bisher Testrechnungen für die Fälle I (Einfachkopplung) und II (Mehrfachkopplung mit innerer Substruktur) durchgeführt.

Methoden und Ergebnisse (Einfachkopplung)

Zur Überprüfung des Berechnungsmoduls und des Kopplungsverfahrens wurden die erzielten Resultate für Objekte in Wasser mit analytischen Lösungsansätzen aus [4] sowie mit Ergebnissen aus anderen Anwendungen verglichen.

Vergleiche: schallharter Zylinder

Die folgenden Abbildungen (Abb. 2a-2d) zeigen den rückgestreuten Schalldruck für einen Zylinder in Wasser im schallharten Fall. Dabei ist zu berücksichtigen, dass die Ergebnisse der analytischen Lösung von Faran [4] (Abb. 2a) und die FEM-Lösung (Abb. 2c) einen unendlich langen Zylinder (2D-Lösung) repräsentieren, während das BEM-Verfahren naturgemäß nur mit endlichen Längen (hier 10 bzw. 30 m) arbeiten kann.
Die erzielten Ergebnisse stimmen sowohl qualitativ als auch quantitativ sehr gut überein, weitere Rechnungen haben gezeigt, dass die Übereinstimmung umso besser wird, je „länger“ der Zylinder im Verhältnis zum Radius wird.

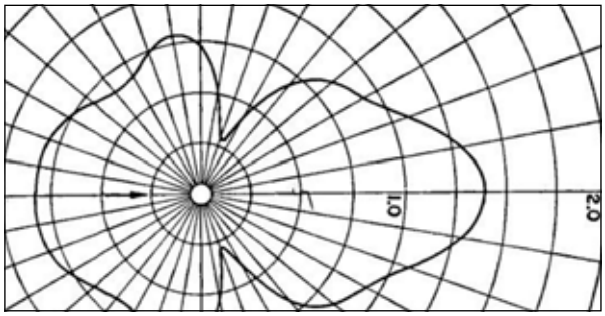


Abb. 2a: James J. Faran (siehe [4], S. 413, Abb.9): $r = 0{,}793 \times 10\text{-}3$ m, $l \to \infty$, $f = 1$ MHz, schallhart

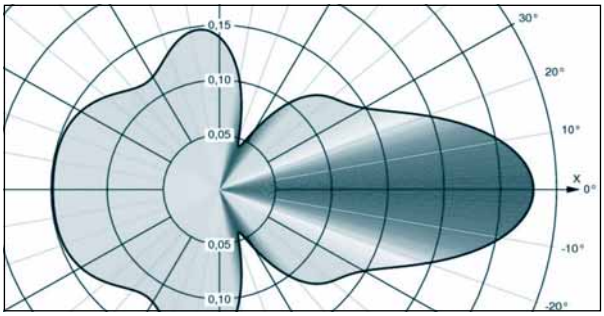


Abb. 2b: SFGSim (quasi schallhart): $r = 0{,}793$ m, $l = 10$m, $f = 1$ kHz, $E = 1{\times}10^{30}$ N/m²

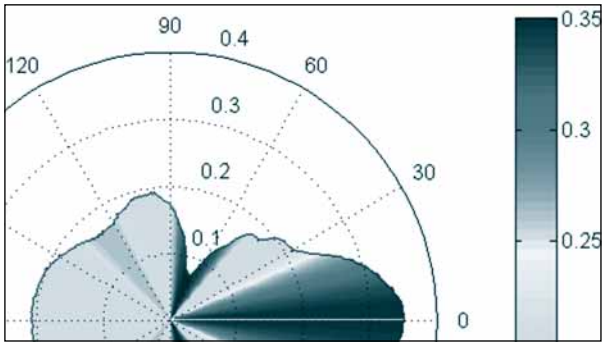


Abb. 2c: 2D-FEM-Lösung (FEMLab): $r = 0{,}793$ m, $l \to \infty$, $f = 1$ kHz, schallhart

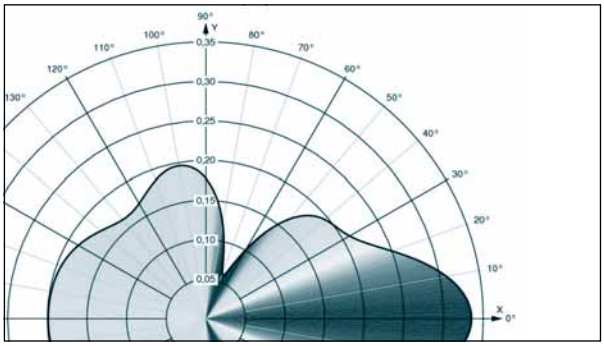


Abb. 2d: SFGSim: $r = 0{,}793$ m, $l = 30$m, $f = 1$ kHz, schallhart

Vergleiche: Zylinder aus Messing

Die folgenden Abbildungen (Abb. 3a-3c) zeigen den rückgestreuten Schalldruck für einen Zylinder aus Messing in Wasser (elastische Kopplung). Auch hier ist zu berücksichtigen, dass die Ergebnisse der analytischen Lösung von Faran [4] (Abb. 3a) und die FEM-Lösung (Abb. 3c) einen unendlich langen Zylinder (2D-Lösung) repräsentieren.
Auch hier stimmen die erzielten Ergebnisse qualitativ und quantitativ sehr gut überein.

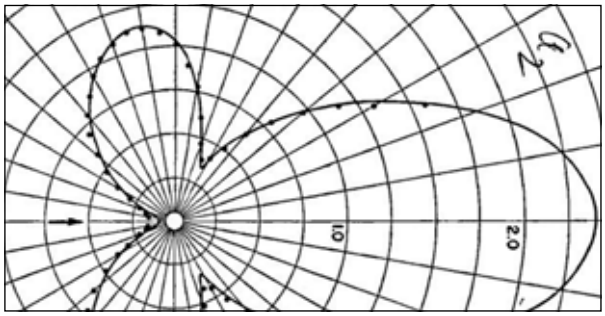


Abb. 3a: James J. Faran (siehe [4], S. 412, Abb. 6): Zylinder, $r = 0{,}793$ mm, $l \to \infty$, $f = 1{,}020$ MHz, Messing

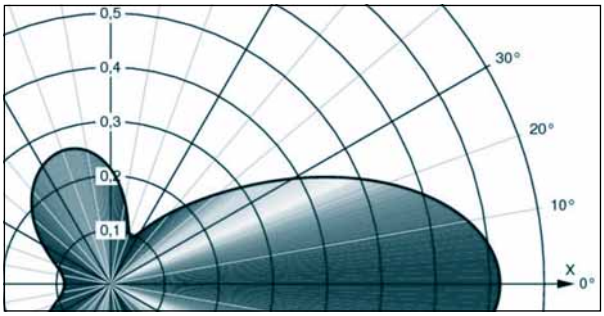


Abb. 3b: SFGSim: Zylinder, $r = 0{,}793$ m, $l = 12$m, $f = 1{,}020$ kHz, Messing

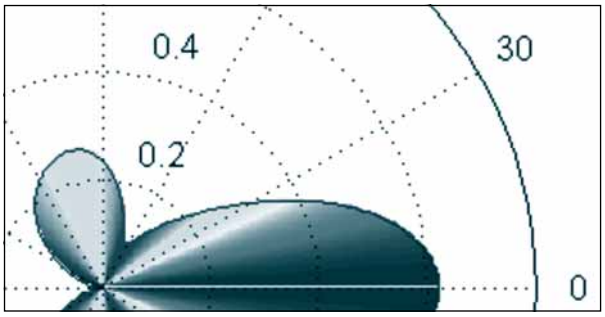


Abb. 3c: 2D-FEM-Lösung (FEMLab): $r = 0{,}793$ m, $l \to \infty$, $f = 1{,}020$ kHz, Messing

Vergleiche: Kugel aus Aluminium

Die folgende Abbildung (Abb. 4) zeigt die Ergebnisse für eine Kugel aus Aluminium ($r = 0{,}5$ m, $f = 1$ kHz) in Wasser, berechnet mit 3 verschiedenen Methoden (BEM-BEM-Kopplung, mit einer analytischen MatLab-Lösung nach Holford und als 3D-FEM-Lösung mittels FEMLab).
Auch für diesen einfach gekoppelten Fall konnte eine sehr gute Übereinstimmung der Ergebnisse erreicht werden, die mit feinerer Diskretisierung noch verbessert werden kann.

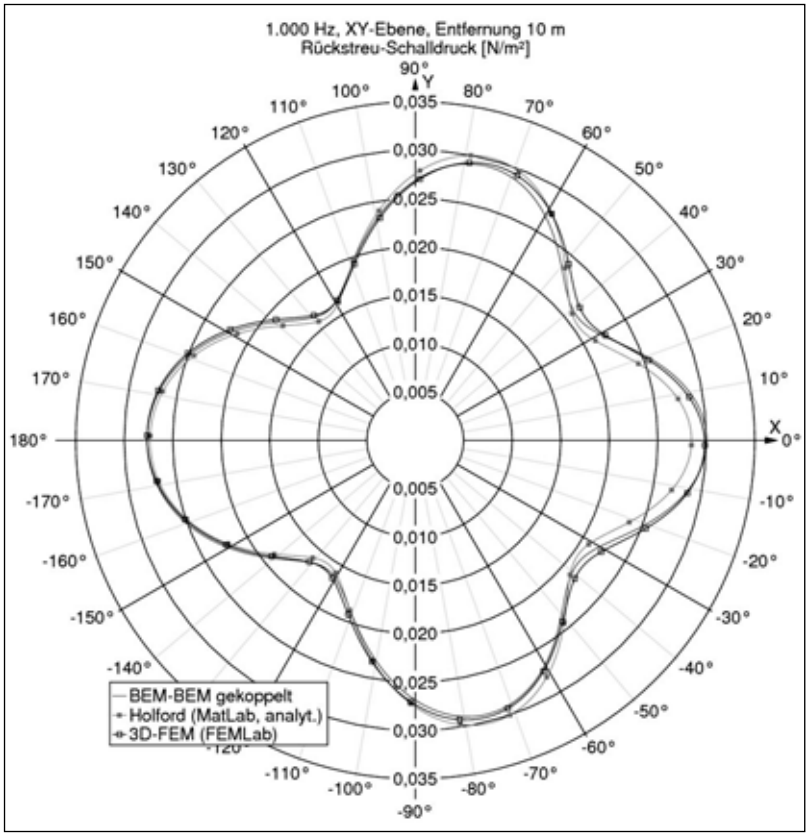


Abb. 4: Ergebnisse für eine Aluminium-Kugel in Wasser

Weitere Ergebnisse

Es liegen auch erste Ergebnisse zu mehrfach gekoppelten Problemen vor, die allerdings den Rahmen dieses Beitrags überschreiten würden und bei Interesse gerne bei den Autoren eingesehen werden können.

Zusammenfassung

Der Pre-/Postprozessor dient der Erzeugung komplexer Szenen und der Definition der Material- und Rechenparameter. Diese Daten bilden die Grundlage für das Calculator-Modul, welches auf mehreren Systemen parallele Berechnungen ermöglicht.
Das BEM-Kopplungsverfahren hat sich im Vergleich als grundsätzlich verwendungsfähig erwiesen, allerdings hängt der Fehler der erhaltenen Resultate stark von der Kopplungsart (einfach/mehrfach) und der Geometrie der verwendeten Strukturen ab, d.h. eine feinere Diskretisierung erzeugt genauere Resultate, benötigt aber auch einen deutlich höheren Lösungsaufwand.
Für die Verfahren, die eine matrixbasierte Lösung erfordern, liegt das im Rahmen des Projekts erreichte Maximum für eine direkte Lösung des Gleichungssystem bei ca. 64.000 Unbekannten (die resultierende Speichergröße für eine solche Matrix beträgt ca. 61 GB). Berechnungen mit mehr Unbekannten, die dann mit Hilfe iterativer Lösungsmethoden durchgeführt werden müssen, sollen verstärkt in einem Folgeprojekt durchgeführt werden.

Ausblick

Für das Folgeprojekt sind derzeit folgende Aufgabenstellungen geplant:

- Untersuchung der Differenzen bei der Mehrfachkopplung
- Implementierung von Konditionierungsverfahren sowie weitere Optimierung des iterativen Lösers, Einsatz anderer iterativer Verfahren (z.B. multiparametrische Gradientenverfahren)
- Einsatz alternativer Löser (z.B. Fast-Multipol-Methode)
- Testrechnungen mit größeren gekoppelten Problemen (auch Varianten III – VI aus Abb. 2)
- Weitere Verbesserungen des Postprozessors

Literatur

[1] Nolte, B. (1989): Randelementberechnungen und Nahfeldmessungen zur akustischen Flu-id-Struktur-Interaktion, Dissertation 1998, Universität der Bundeswehr Hamburg.

[2] R. Burgschweiger; M. Ochmann (2006): Detektion von Minen im Frequenzbereich, Projektphasen I und II, Forschungsbericht 2006 der Technischen Fachhochschule Berlin.

[3] R. Burgschweiger; M. Ochmann (2007): Detektion von Minen im Frequenzbereich, Projektphase III, Forschungsbericht 2007 der Technischen Fachhochschule Berlin.

[4] James J. Faran Jr. (1951): Sound Scattering by Solid Cylinders and Spheres, JASA, Vol. 23 Nr. 4, Juli 1951, S. 405-418.

Kontakt

Dipl.-Ing. Ralf Burgschweiger
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 2719
E-Mail: burgi@beuth-hochschule.de

Prof. Dr.-Ing. Martin Ochmann
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 2931
E-Mail: ochmann@beuth-hochschule.de

Einfluss von Temperaturgradienten auf den von Flammen erzeugten Verbrennungslärm

Dr.-Ing. Rafael Piscoya, Prof. Dr.-Ing. Martin Ochmann
Forschungsschwerpunkt: Computational Acoustics

Kurzfassung

In der vorliegenden Arbeit wird der Einfluss des Temperaturgradienten auf das Schallfeld einer eingeschlossenen Flamme untersucht. Die Flamme in der Brennkammer wird als Zylinder modelliert. Die Schwingungen der Seitenwände und die Geschwindigkeit des Fluids am Kammerauslass charakterisieren die akustische Quellen. Die Wirkung der Temperatur außerhalb der Kammer wird qualitativ bestimmt, indem charakteristische Größen wie Schallleistung und Richtcharakteristik mit und ohne Temperaturgradient verglichen werden.

Abstract

The present work studies the influence of temperature gradients on the sound field of enclosed flames. The flame in the combustion chamber is modelled as a cylinder. The acoustic sources are characterized through the vibration of the side walls and the velocity of the fluid at the chamber exit. The effect of the temperature outside the chamber is determined qualitatively by comparing typical quantities like the sound power and the radiation pattern with and without temperature.

Einleitung

Der Schall im Fernfeld einer turbulenten Flamme kann mittels des Standard-Randelementeverfahrens (BEM) ermittelt werden, wenn der Druck oder die Schnelle auf einer geschlossenen Fläche (Hüllfläche), die die Flamme umschließt, bekannt ist. Das Medium außerhalb dieser Hüllfläche muss homogen sein. Wenn Temperaturgradienten außerhalb der Hüllfläche vorhanden sind, gilt die homogene Helmholtz-Gleichung nicht mehr. Stattdessen muss eine inhomogene Helmholtzgleichung gelöst werden. Die entsprechende Integralform enthält ein Volumenintegral, dessen Berechnung großen Rechenaufwand erfordert. Mit Hilfe der „Dual-Reciprocity-BEM“ (DRBEM) kann das Volumenintegral in eine Summe von Flächenintegralen überführt werden, sodass das Fernfeld wiederum allein aus der Kenntnis der Schallgrößen auf der Hüllfläche bestimmt werden kann.

Schallfeld im Fernfeld der Flamme

Für die Berechnung des abgestrahlten Schalls der Flamme wird angenommen, dass wenigstens eine Schallgröße, z.B. der Druck p bzw. die Schnelle v_n auf einer geschlossene Fläche S, die die Flamme umschließt, bekannt ist (siehe Abb. 1). Bei eingeschlossenen Flammen bilden die Brennkammerwände einen Anteil von S. Wenn außerhalb von S das Medium homogen ist, kann das Schallfeld mit der Standard-BEM ermittelt werden. Der Schalldruck lautet [Och 02]:

$$C^S(\vec{x})p(\vec{x}) = \int_S \left(p(\vec{y})\frac{\partial g(\vec{x},\vec{y})}{\partial n(\vec{y})} + j\omega\rho v_n g(\vec{x},\vec{y}) \right) dS(\vec{y}) \quad . \tag{1}$$

C^S=1 wenn x außerhalb S liegt und C^S=0 für x innerhalb S.
Wenn das Medium außerhalb von S nicht homogen ist, gilt Gl. (1) nicht mehr. Man erhält aber einen ähnlichen Ausdruck, wenn die Inhomogenitäten in Form einer Quellverteilung q geschrieben werden können:

$$C^S(\vec{x})p(\vec{x}) = \int_S \left(p(\vec{y})\frac{\partial g(\vec{x},\vec{y})}{\partial n(\vec{y})} + j\omega\rho v_n g(\vec{x},\vec{y}) \right) dS(\vec{y}) - \int_\Omega q(\vec{y})g(\vec{x},\vec{y})dV(\vec{y}). \quad . \tag{2}$$

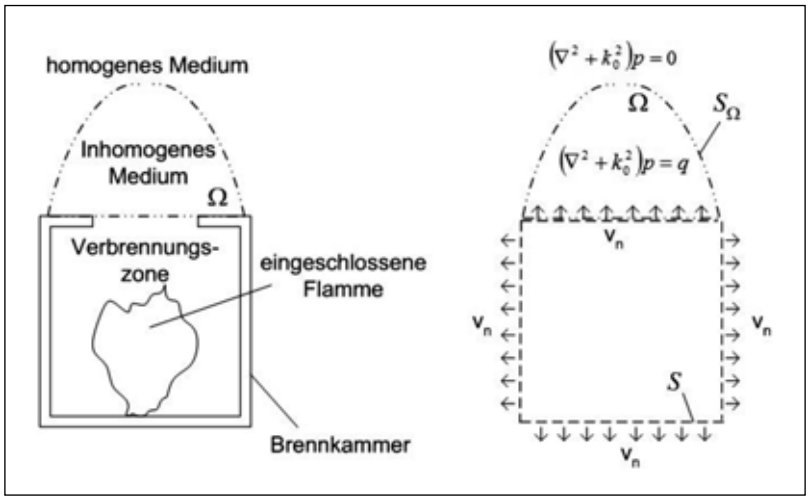


Abb. 1: links: eingeschlossene Flamme; rechts: akustisches Modell.

Im Forschungsbericht 2007 der TFH Berlin [Pis 07] wurde gezeigt, dass das zusätzliche Volumenintegral in Gl. (2) als eine Summe von Flächenintegralen dargestellt werden kann. Dafür ist die Entwicklung des Quellterms q in eine Reihe von Funktionen f_j notwendig

$$q = \sum_j \alpha_j f_j \quad , \tag{3}$$

die Lösungen der Helmholtz Gleichung ψ_j zugeordnet sind:

$$\left(\nabla^2 + k^2\right)\psi_j = f_j \quad . \tag{4}$$

Durch die Anwendung der DRBEM erhält man für den Schalldruck:

$$C^S(\vec{x})p(\vec{x}) = \int_S \left(p(\vec{y})\frac{\partial g(\vec{x},\vec{y})}{\partial n} - \frac{\partial p(\vec{y})}{\partial n} g(\vec{x},\vec{y}) \right) dS + \sum_j \alpha_j \left(C^\Omega \psi_j(\vec{x}) + \int_{S_\Omega} \left(\psi_j(\vec{y})\frac{\partial g(\vec{x},\vec{y})}{\partial n} - \frac{\partial \psi_j(\vec{y})}{\partial n} g(\vec{x},\vec{y}) \right) dS \right) , \tag{5}$$

wobei $C^\Omega = 1$ für x innerhalb von Ω, $C^\Omega = 0$ außerhalb von Ω und S_Ω die Oberfläche des Volumens Ω bezeichnet.

Temperaturgradient als Quellterm

Es wird der Fall einer Region Ω mit einer bekannten Temperaturverteilung außerhalb der Hüllfläche S untersucht. Angenommen wird, dass die Temperatur nur örtlich und nicht zeitlich variiert, da ansonsten die Behandlung im Frequenzbereich zu kompliziert wird.
Da die Schallgeschwindigkeit von der Temperatur abhängt, ist sie nicht konstant, und die Wellengleichung lautet [Rie 04]:

$$\frac{1}{c^2}\nabla \cdot \left(c^2 \nabla p\right) + k^2 p = 0 \quad . \tag{6}$$

Wenn die Relation $c^2 = \gamma RT$ in Gl. (5) eingesetzt wird, ergibt sich die Gleichung:

$$\nabla^2 p + k^2 p + \frac{\nabla T \cdot \nabla p}{T} = 0 \quad , \tag{7}$$

wobei $k=\omega/c$ nicht konstant ist. Nach der Einführung der konstanten Wellenzahl $k_0=\omega/c_0$ in Gl. (6) und einer geeigneten Umordnung erhält man:

$$\nabla^2 p + k_0^2 p = q \quad , \quad q = \left(k_0^2 - k^2\right) p - \frac{\nabla T \cdot \nabla p}{T} \tag{8}$$

Gl. (8) zeigt, dass der Quellterm q die unbekannte Variable p und ihre Ableitungen enthält. In diesem Fall ist eine Entwicklung von p in eine Reihe der Funktionen d_j in einer ähnlichen Weise wie für q geschehen, notwendig [Per 99]:

$$p(\vec{x}) = \sum_j \beta_j d_j(\vec{x}) \quad \rightarrow \quad \nabla p(\vec{x}) = \sum_j \beta_j \nabla d_j(\vec{x}) \quad . \tag{9}$$

Numerischer Test

Für diese erste Untersuchung wird eine Brennkammer mit starren Wänden angenommen. Dort ist also die Normalschnelle Null, bis auf den Auslass, wo eine radiale Verteilung vorgegeben ist.

$$v_n(r) = \exp(-r^2 / R^2) \quad , \quad r < R \quad . \tag{10}$$

Außerhalb des Auslasses ist eine Region der Länge L_T mit folgender Temperaturverteilung vorgegeben:

$$T(x,y,z) = T_m \exp\left(- \mu \frac{A\left(y^2 + z^2\right)}{x_0 - x} \right) \quad , \tag{11}$$

wobei A und x_0 Konstanten sind, $\mu=\log(T_m/T_a)$ und T_m der maximalen Temperatur und T_a der Raumtemperatur entsprechen.

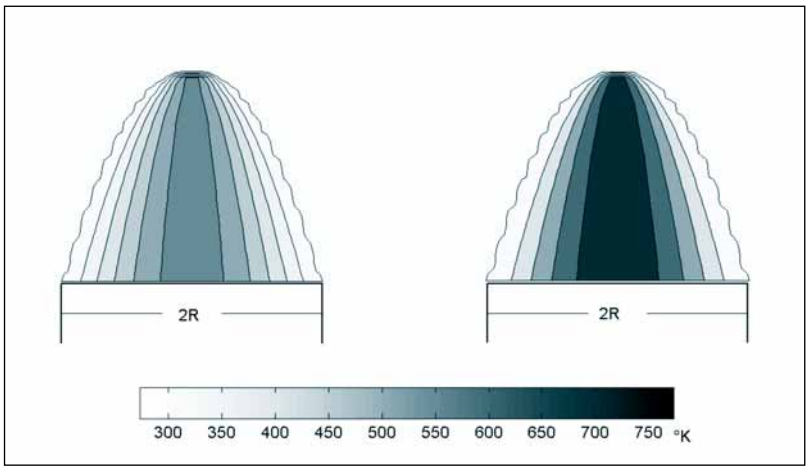


Abb. 2: Temperaturverteilung laut Gl. (8) für zwei Werte von T_m.

Der Schalldruck außerhalb der Brennkammer lässt sich mit Gl. (5) berechnen. Die normale Schnelle v_n auf der Oberfläche S ist bekannt, aber der Druck muss bestimmt werden. Dafür wird Gl. (5) durch N Punkte auf der Oberfläche S_Ω und L Punkte innerhalb von Ω (insgesamt $M=N+L$ Punkte) diskretisiert.

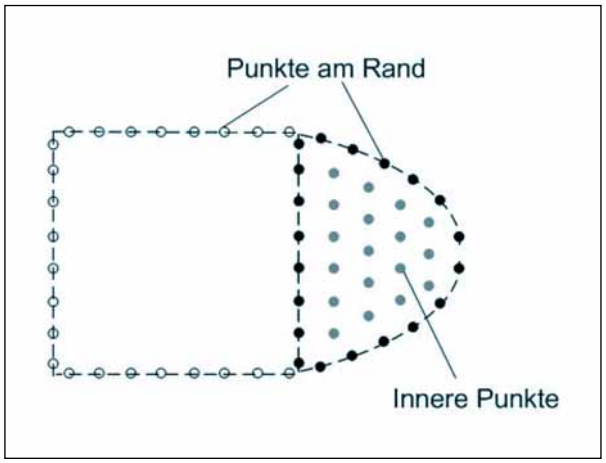


Abb. 3: Diskretisierung des Modells

Bricht man die Reihe in Gl. (5) nach dem M-ten Term ab, ergibt sich ein $M\times M$ Gleichungssystem, dessen Lösung den Werten des Schalldruckes entspricht. Die Matrixform des Gleichungssystems lautet:

$$\left(C^S I\right)\left[p^{S_\Omega}\;\; p^\Omega\right]^T = Hp^S - G\frac{\partial p^S}{\partial n} + \left(C^\Omega\psi + H\psi^{S_\Omega} - G\frac{\partial \psi^{S_\Omega}}{\partial n}\right)\alpha \quad , \tag{12}$$

wobei I die Einheitsmatrix darstellt. H und G sind $M\times N$ Matrizen mit Elementen $\partial g/\partial n$ und g multipliziert mit einer Elementfläche. ψ ist eine $M\times M$ Matrix, und ψ^{S_Ω} und $\frac{\partial \psi^{S_\Omega}}{\partial n}$ sind $N\times M$ Matrizen. α ist ein Spaltvektor mit M Elementen.
Setzt man Gl. (9) in Gl. (8) ein, dann erhält man für den Quellterm

$$q = \left(k_0^2 - k^2\right)p - \sum_j \beta_j u_j \quad , \quad u_j = \frac{\nabla T\cdot\nabla d_j}{T} \quad , \tag{13}$$

dessen Matrixform lautet:

$$q = \left(k_0^2 - k^2\right)\left[p^{S_\Omega}\;\; p^\Omega\right]^T - U\beta \quad .$$

Wenn $\alpha = F^{-1}q$ und $\beta = D^{-1}\left[p^{S_\Omega}\;\; p^\Omega\right]^T$ in Gl. (12) eingesetzt wird, erhält man die zu lösende Matrixgleichung:

$$\left(C^S I - \left(C^\Omega\psi + H\psi^{S_\Omega} - G\frac{\partial \psi^{S_\Omega}}{\partial n}\right)F^{-1}\left(\left(k_0^2 - k^2\right)I - UD^{-1}\right)\right)\left[p^{S_\Omega}\;\; p^\Omega\right]^T - Hp^S = -G\frac{\partial p^S}{\partial n} \quad . \tag{14}$$

Ergebnisse des Schallfeldes im Fernfeld

Die Schallleistung und die Richtcharakteristik der eingeschlossenen Flamme für mehrere Temperaturverteilungen werden in Abb. 4-6 mit dem homogenen Fall (∇T=0) verglichen.
Die Schallleistung sinkt stetig mit dem Anstieg der maximale Temperatur. Dieses Verhalten lässt sich dadurch erklären, dass die Strahlungsimpedanz des Mediums kleiner wird infolge der Minderung der Dichte mit steigender Temperatur. Die Richtcharakteristik weitet sich aus wegen der Brechung der Schallwellen aufgrund der nicht konstanten Schallgeschwindigkeit. Die Schallleistung hängt weniger von der Länge der inhomogenen Region ab als die Richtcharakteristik.

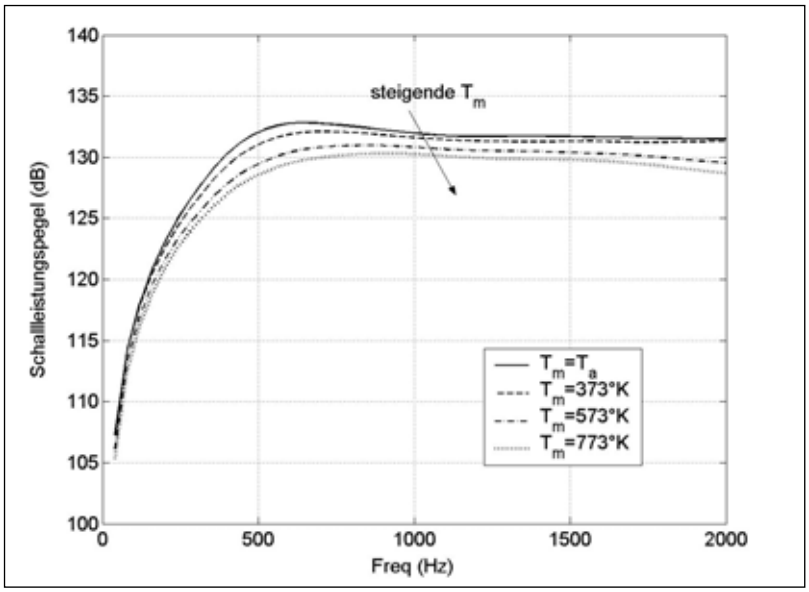


Abb. 4: Einfluss der Temperatur auf die Schallleistung.

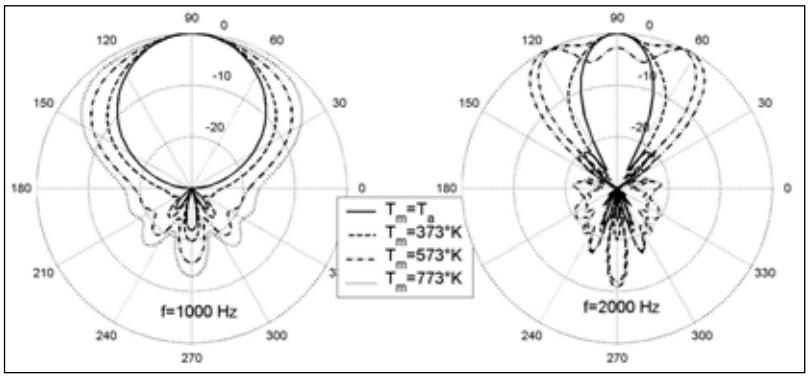


Abb. 5: Einfluss der Temperatur auf die Richtcharakteristik.

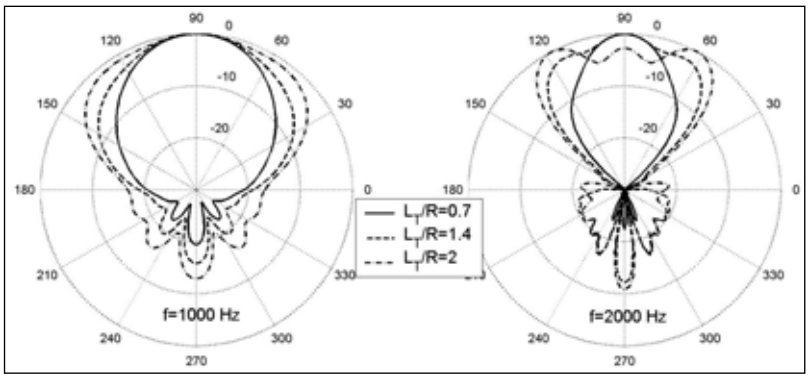


Abb. 6: Einfluss der Länge der inhomogenen Region auf die Richtcharakteristik für Tm=773°K.

Diese Arbeit wurde durch die Deutsche Forschungsgemeinschaft im Rahmen der Forschergruppe „Verbrennungslärm“ gefördert.

Literatur

[Per 99] Perrey-Debain, E. (1999): Analysis of convergence and accuracy of the DRBEM for axisymmetric Helmholtztype equation. Engineering Analysis with Boundary Elements 23 703–711.

[Och 02] Ochmann, M. (2002): Analytical und Numerical Methods in Acoustics, in Mechel. F.P.: Formulas of Acoustics, 930-1026, Springer.

[Pis 07] Piscoya, R.; Ochmann, M. (2007): Schallabstrahlung in einer Region heißen Gases mit Hilfe der DRBEM, Forschungsbericht der Technische Fachhochschule Berlin.

[Rie 04] Rienstra S.W.; Hirschberg, A. (2004): An Introduction to Acoustics, Eindhoven University of Technology.

Kontakt

Dr.-Ing. Rafael Piscoya
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 2804
E-Mail: piscoya@beuth-hochschule.de

Prof. Dr.-Ing. Martin Ochmann
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 2931
E-Mail: ochmann@beuth-hochschule.de

Konverteam
186 x 128 4C
Platzierung
ohne

Netzwerk Fließgewässer im urbanen Raum

Prof. Dr. Stefan Heimann Forschungsschwerpunkt Fließgewässer

Kurzfassung

Die europäische Wasserrahmenrichtlinie (WRRL) fordert, den guten Zustand der Gewässer herzustellen. In urbanen Gebieten ist dieses Ziel besonders schwer zu erreichen. Allgemeine Handlungsanweisungen gibt es nicht. Die Akteure sind auf Erfahrungen aus anderen Projekten angewiesen. Das Netzwerk FluR e.V. will vorhandenes Wissen sammeln und allen Mitgliedern verfügbar machen. Außerdem dient es als Plattform für den Erfahrungsaustausch und als Koordinationsstelle für die Durchführung von Forschungsvorhaben.

Abstract

The European Water Framework Direktive (WFD) demands to achieve a good condition of all water bodies. In urban areas it is most challenging to meet this goal. General recommendations are not available. The scientists depend on the experiences of other projects. The network FluR (water bodies in urbanen areas) helps to collect and spread this knowledge to all members. Furthermore it serves as a platform for communication and a coordination centre for the performance of research works.

Einleitung

Fließgewässer im urbanen Raum sind noch immer vielerorts durch städtebauliche, ökologische und wasserwirtschaftliche Defizite gekennzeichnet. Spätestens seit der Einführung der EG-Wasserrahmenrichtlinie im Jahr 2000 hat der Umgang mit den Gewässern jedoch einen neuen Stellenwert erhalten. Immer mehr Städte, Gemeinden und Bürger entdecken ihre Gewässer neu als Naturraum im städtischen Umfeld, als Ort der Erholung und Freizeitgestaltung, als gestaltendes Element in der urbanen Bebauung und als Treffpunkt für kulturelle Aktivitäten. Ehemalige Gewerbeflächen am Wasser werden zu attraktiven Wohn- und Geschäftsvierteln umgestaltet und Grünzüge entlang städtischer Gewässer angelegt. Dabei ist die Umsetzung der in der Wasserrahmenrichtlinie festgelegten Ziele aufgrund der vielfältigen Nutzungen und der hohen Bebauungsdichte in urbanen Räumen besonders schwierig.

Die Revitalisierung von Fließgewässern im urbanen Raum stellt deshalb komplexe und oftmals kostenintensive Vorhaben dar. Deren nachhaltiges Gelingen erfordert sowohl die aktive Einbindung der Öffentlichkeit und anderer Betroffener als auch eine fachübergreifende Herangehensweise, die alle Aspekte angemessen berücksichtigt.

Trotz unterschiedlicher Ausgangsbedingungen für jedes Projekt ergeben sich beim Gewässerausbau viele vergleichbare Fragestellungen. So wächst die Erkenntnis, dass gerade der Erfahrungsaustausch zwischen den Akteuren und die Möglichkeit, von bereits realisierten Maßnahmen zu lernen, ein zentraler Erfolgsfaktor bei der Umsetzung von Gewässerrevitalisierungsmaßnahmen ist. Es war daher der Wunsch vieler Praktiker, auf diesem Gebiet vorhandenes Wissen und Erfahrungen zusammenzutragen und für künftige Projekte zugänglich zu machen.

Aufbau eines Netzwerkes

Die Initialzündung zur Bildung eines Netzwerkes für die Entwicklung urbaner Fließgewässer ging von einer Tagung zur Revitalisierung der Haase in Osnabrück Ende 2006 aus. Die Teilnehmer der Veranstaltung verfassten eine Gründungserklärung und benannten ein interdisziplinäres, neunköpfiges Aufbauteam aus Vertretern der kommunalen Praxis, Planung und Wissenschaft, zu welchem auch der Autor dieses Berichtes gehörte.

Mit Unterstützung der kommunalen Umwelt-Aktion (U.A.N.) in Hannover brachte das Aufbauteam im April 2007 ein von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördertes Projekt auf den Weg, welches im Dezember 2007 zur Gründung des Netzwerkes FluR e.V. (FluR = Fließgewässer im urbanen Raum) führte.

Das Netzwerk FluR e.V. ist ein eingetragener gemeinnütziger Verein mit Sitz in Hannover. Mitglied kann jede natürliche oder juristische Person werden, die die Ziele des Vereins unterstützt und sich damit für die Verbesserung von städtisch geprägten Gewässern einsetzt.

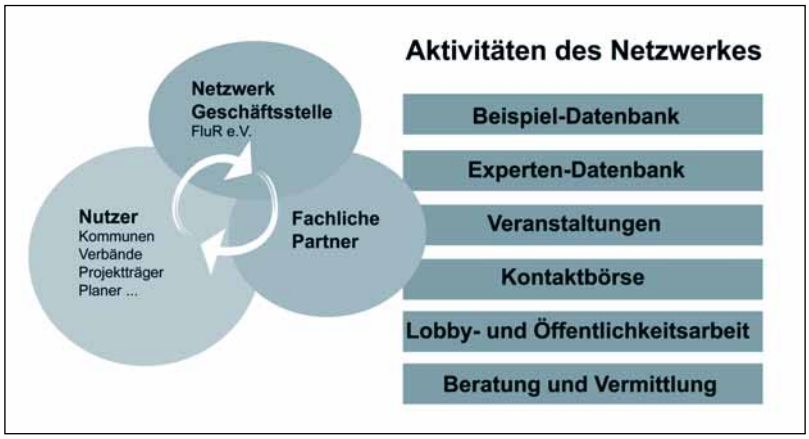


Abb. 1: Struktur und Aktivitäten des Netzwerks FluR

Primäres Ziel des Netzwerks FluR e.V. ist es, vorhandenes Wissen und Erfahrungen zu bündeln und bürgerschaftlichen Initiativen, Kommunen und anderen Akteuren, die sich für die Revitalisierung von Fließgewässern engagieren oder dies vorhaben, zur Verfügung zu stellen. Der Verein will die Vernetzung der Praktiker und Akteure vor Ort untereinander sowie mit den maßgeblichen Fachleuten und Institutionen aus Wasserwirtschaft, Städtebau, Stadtentwicklung, Naturschutz und anderen Disziplinen fördern und unterstützen. Ganz besonders sollen auch die in der Gewässerrevitalisierung engagierten Bürger angesprochen werden und vom Wissensaustausch profitieren. Zudem soll das Netzwerk Forschungs- und Umsetzungsprojekte als Träger oder Partner initiieren und begleiten. Schließlich versteht sich das Netzwerk FluR e.V. auch als Interessenvertreter für urbane Fließgewässer.

Die Vereinsziele sollen durch folgende Maßnahmen umgesetzt werden:

- Bündelung und Weitergabe von Erfahrungen,
- Kontaktvermittlungen,
- Beispielsammlung und Handreichungen,
- Unterstützung von Gewässerentwicklungsprojekten,
- Förderung der Bildung für nachhaltige Entwicklung,
- Durchführung von Workshops und Tagungen,
- Initiierung, Unterstützung und Durchführung von Forschungsvorhaben.

Umsetzung

Als zentraler Knotenpunkt des Netzwerkes wurde die **Internetseite** www.netzwerk-flur.de eingerichtet. Sie ist das virtuelle Eingangstor zum Netzwerk und eröffnet den Zugang zu Projektbeispielen aus der Praxis. Mehr als 60 beispielhafte Vorhaben der Gewässerrevitalisierung sind dort in Form von Gewässersteckbriefen dokumentiert. Eine gezielte Projektsuche anhand passender Suchbegriffe ist möglich. Diese Dokumentation dient als Informationspool für alle Akteure rund um die Gewässerrevitalisierung.
Die Website wurde so konzipiert, dass zukünftige Erweiterungen und der Ausbau zum Kommunikationsinstrument möglich sind. Zum Beispiel könnten Foren bzw. sog. Blogs zu aktuellen Themen eingerichtet werden.
Jährliche **Netzwerktagungen** sollen dem Gedankenaustausch und der Kontaktvermittlung dienen. Die bisherigen beiden Tagungen im Oktober 2006 und im Februar 2008 waren sehr gut besucht und boten einem breiten Spektrum von Teilnehmern aus Kommunen, Bürgerinitiativen, Vereinen, Wissenschaft und Praxis die Möglichkeit zur Diskussion in kleineren Fachforen und zum intensiven Erfahrungsaustausch. Gerade dieser fachübergreifende Austausch wurde sehr gelobt und kommt nach Rückmeldung der Teilnehmer bei anderen fachlichen Veran¬staltungen zum Themenfeld häufig zu kurz. Die Netzwerktagungen sollen daher auch zukünftig in dieser Form und mit unterschiedlichen Themenschwerpunkten durchgeführt werden, um Impulse für die Netzwerkarbeit zu liefern und den Bedarf für künftige Aktivitäten zu konkretisieren.
Um die Erfahrungen rund um urbane Gewässer in den europäischen Prozess zur Umsetzung der EG-WRRL einzubringen, wurde ein entsprechendes **Positionspapier** erarbeitet und dem *Council of European Municipalities and Regions* (CEMR) zur Diskussion zugeleitet. Ziel ist es, das Thema „urbane Gewässer“ in einer der Arbeitsgruppen der europäischen strategischen Koordinierungsgruppe Wasserrahmenrichtlinie einzubringen. Eine zusätzliche Überlegung ist, aus dem vorliegenden Papier eine sogenannte „Waternote“ herauszuarbeiten.

Diese „Waternotes“ thematisieren bestimmte Themen zur Umsetzung der EG-WRRL und sind für die interessierte Öffentlichkeit auf den Internetseiten der EU zugänglich.

Abb. 2: Projektsuche auf der Website

Ein wichtiges Ziel des Vereins FluR ist die gezielte Auswertung von Beispielvorhaben an urbanen Gewässern, um insbesondere Erfolgsfaktoren aber auch Hemmnisse zu identifizieren und übertragbar für andere Vorhaben aufzubereiten. Zu diesem Thema wurde gemeinsam mit der U.A.N. ein **Forschungsprojekt** bei der DBU beantragt, welches Ende September 2008 genehmigt wurde. Die Arbeiten wurden im Oktober 2008 aufgenommen.
Auch das Thema **„Gewässerpädagogik** an urbanen Gewässern“ soll in einem weiteren Forschungsprojekt mittelfristig untersucht werden. Die Vorbereitungen für die Projektbeantragung haben bereits begonnen.

Künftige Aktivitäten

Nach einem gelungenen Start soll das Netzwerk FluR sukzessive ausgebaut und neue Mitglieder gewonnen werden. Gerade Kommunen sind angesprochen, sich aktiv in das Netzwerk einzubringen und Erfahrungen und Wissen austauschen. Die regelmäßig stattfindenden Netzwerktagungen, aber auch zu bestimmten Themenbereichen geplante Seminare, Arbeitsgruppen und Foren sollen hier entsprechende Plattformen für den praxis- und projektorientierten Austausch bieten. Bei all diesen Aktivitäten wird eine enge Vernetzung mit den vorhandenen Verbänden und Strukturen angestrebt. Doppelarbeiten sollen vermieden werden. So gab es bereits eine Abstimmung mit der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA), die ihr Merkblatt zum Thema urbaner Gewässer im Hinblick auf die neuen Anforderungen der EG-Wasserrahmenrichtlinie zur Zeit aktualisiert.
Weiterhin ist geplant, in einer praxisnahen „Werkzeugkiste“ Hinweise auf vorhandene gewässerrelevante Methoden, Richtlinien, Leitfäden, Planungsmaterialien und Instrumente zusammenzustellen, um Praktikern einen schnellen Einstieg und Überblick in die Projektarbeit zu ermöglichen.
Darüber hinaus sollen weitere praxisnahe Forschungen zu aktuellen Themen durchgeführt werden.

Urbane Gewässer in Berlin und an der TFH Berlin

Neben den großen Flüssen Spree und Havel ist Berlin von vielen kleineren Fließgewässern durchzogen. Diese stellen wertvolle, zusammenhängende Freiräume dar, welche die Stadt als ökologische Lebensadern und Grünzüge zur Erholung durchziehen. Sie fungieren darüber hinaus als durchgängige Wegebeziehungen für Fußgänger und Radfahrer erfüllen damit wichtige urbane Funktionen.
Die aktuellen Diskussionen um den Ausbau des Landwehrkanals und die Spree im Bereich des ehemaligen Osthafens (Mediaspree) zeigen die Bedeutung der Gewässer für die Menschen in der Stadt.

Abb. 3: Der Landwehrkanal in Berlin-Kreuzberg

Abb. 4: Die Spree im Bereich des Osthafens (mit freundlicher Genehmigung des Regionalmanagement mediaspree e.V)

Aber auch die kleineren Gewässer haben eine hohe Bedeutung für die Stadt. So wurden in der jüngeren Vergangenheit viele Maßnahmen zur Gewässerrevitalisierung durchgeführt, z.B. am Bullengraben oder der Wuhle. Als Musterprojekt für die Umsetzung der Ziele der EG-WRRL wird z.Zt. die Panke durchgehend von der Quelle bei Bernau bis zur Mündung in den Berlin-Spandauer Schifffahrtskanal im Wedding als länderübergreifendes Projekt entwickelt.

Abb. 5: stark verbaute Panke in Berlin-Wedding

Die Förderung und Entwicklung urbaner Gewässer stellt daher einen Schwerpunkt im Master-Studiengang „Urbane Infrastrukturplanung – Verkehr und Wasser“ dar. In den Vorlesungen „Urbaner Wasserbau“ sowie „Stadthydrologie“ werden die ingenieurtechnischen und ökologischen Grundlagen für die Entwicklung urbaner Fließgewässer vermittelt. Der Grundstein für diese Thematik wird bereits im Wahlpflichtfach „Naturnaher Wasserbau“ des Bachelor-Studienganges „Bauingenieurwesen“ gelegt.
Der Autor dieses Beitrags befasst sich schwerpunktmäßig mit der Thematik des Gewässerausbaus und ist Mitglied im Vorstand des Netzwerkes FluR e.V..

Zusammenfassung

Das Netzwerk FluR e.V. wurde gegründet, um vorhandene Erfahrungen in der Umsetzung von Projekten zur Gewässerentwicklung in urbanen Räumen zu sammeln und allen interessierten und betroffenen Personen oder Institutionen verfügbar zu machen. Das Netzwerk dient außerdem als Kommunikationsplattform für die Mitglieder und als Koordinationsstelle für Forschungsprojekte im Zusammenhang mit urbanen Fließgewässern. Ein erstes Forschungsprojekt befindet sich in der Durchführung und ein zweites in der Vorbereitung.

Kontakt

Prof. Dr. Stefan Heimann
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 2630
E-Mail: heimann@beuth-hochschule.de

Einzugsgebiete der Studiengänge und regionale Herkunft der Studienbewerber der TFH Berlin

Prof. Dr. Jürgen Schweikart, M.Sc. Jonas Pieper, M.Sc. Conrad Franke
Forschungsschwerpunkt: Kartographie

Kurzfassung

Die Bildungsgeographie beschäftigt sich seit langem mit Einzugsgebieten von Hochschulen und der regionalen Gebundenheit der Studierenden bei ihrer Studienortwahl. Die vorliegende Studie beschäftigt sich mit der regionalen Herkunft der Studienbewerberinnen und -bewerber der TFH Berlin auf der Basis der Daten des Wintersemesters 2008/2009. Die modellierten Einzugsgebiete erlauben Aussagen zur Attraktivität und überregionalen Bekanntheit der Hochschule und ihrer Studiengänge.

Abstract

Catchment areas of universities and the regional accommodation of students choosing their place of study have been of high interest in the area of educational geography. The study evaluates the origin of those applying for a place at the University of Applied Sciences Berlin for the winter semester 2008/2009. The determined catchment areas allow conclusions regarding attractiveness and publicity beyond the area of Berlin for the university and its several study courses.

Einleitung

Die regionale Herkunft der Studierenden kann als ein Indikator für die Attraktivität einer Hochschule oder eines einzelnen Studienganges herangezogen werden, sofern die Wahl des Studienortes nicht durch andere Faktoren wie das Fächerangebot, Zulassungsbeschränkungen oder die zentrale Vergabe von Studienplätzen beeinflusst wird. Dabei kann von der These ausgegangen werden, dass bedeutende Hochschulen einen größeren Anteil ihrer Studierenden aus einem überregionalen Einzugsgebiet beziehen als weniger bekannte oder beliebte Hochschulstandorte [Meu 98].
Alle bisherigen Studien kommen zu dem Ergebnis, dass die Nähe zum Heimatort bei der Wahl des Studienortes die wichtigste Rolle spielt. Nach einem vom Statistischen Bundesamt veröffentlichten Bericht sind 61 % der Studierenden in dem Bundesland eingeschrieben, in dem sie ihre Studienberechtigung erworben haben. Berlin weist hier hingegen einen überdurchschnittlich hohen Anteil von Studierenden (54 %) auf, die außerhalb der Hauptstadt ihre Hochschulzugangsberechtigung erworben haben [Sta 05]. Eine weitere Maßzahl weist darauf hin, dass der Hochschulstandort Berlin besonders attraktiv ist. Das Wanderungssaldo definiert das Mengenverhältnis zwischen ab- und zuwandernden Studierenden in den Ländern. Nach dieser Statistik weist Berlin im WS 2006/2007 mit plus 27.600 Studierenden den mit Abstand höchsten Importüberschuss in Deutschland auf. Im Vergleich zu den Vorjahren schmilzt dieser Überschuss stetig. Seit dem Jahr 2000 sank die Zahl um 34% [Sta 08].
Im Mittelpunkt der Studie steht die Frage nach der regionalen Herkunft der Studienbewerber der TFH in Abhängigkeit des nachgefragten Studienganges. Dies wird mithilfe eines Geoinformationssystems (GIS) untersucht. Die regionale Basis bilden gekodierte Bewerberdaten auf Basis der fünfstelligen Postleitzahlgebiete Deutschlands. Damit steht eine Datengrundlage zur Verfügung, die es erlaubt, für jeden Studiengang spezifische, regionale Herkunftsgebiete darzustellen und Maßzahlen abzuleiten. Die Ergebnisse geben Auskunft darüber, wie attraktiv die TFH für Studierende aus anderen Bundesländern ist und welche Unterschiede zwischen den einzelnen Studiengängen bestehen.

Untersuchung von Hochschulregionen und Gründe für Bildungssesshaftigkeit

Bereits in den 60er Jahren wurde der Begriff der Hochschulregion geprägt. Als Hochschulregion sollten danach diejenigen Stadt- und Landkreise definiert werden, aus denen sich die Studienanfänger eindeutig nur zu einer Hochschule hin orientierten. Es wurde untersucht, wie viel Prozent der ursprünglich in einem Kreis beheimateten Studenten an einer bestimmten Hochschule studierten. Später wurde dieser Wert als Ausschöpfungsgrad bezeichnet. Kreise, aus denen mehr als 50 % an einer Hochschule studierten, wiesen danach einen hohen Regionalitätsgrad auf und bildeten den Kern einer Hochschulregion. Kreise mit Prozentwerten zwischen 30 % und 50 % wurden ebenfalls einer Hochschulregion zugerechnet, allerdings als Zone mit einem

niedrigeren Regionalitätsgrad. Insgesamt ist zu beobachten, dass die Hochschulregionen seit 1960 kleinräumiger geworden sind, was in erster Linie an der Verdichtung des Hochschulnetzes durch Neugründungen liegt [Gei 65, Nut 91].

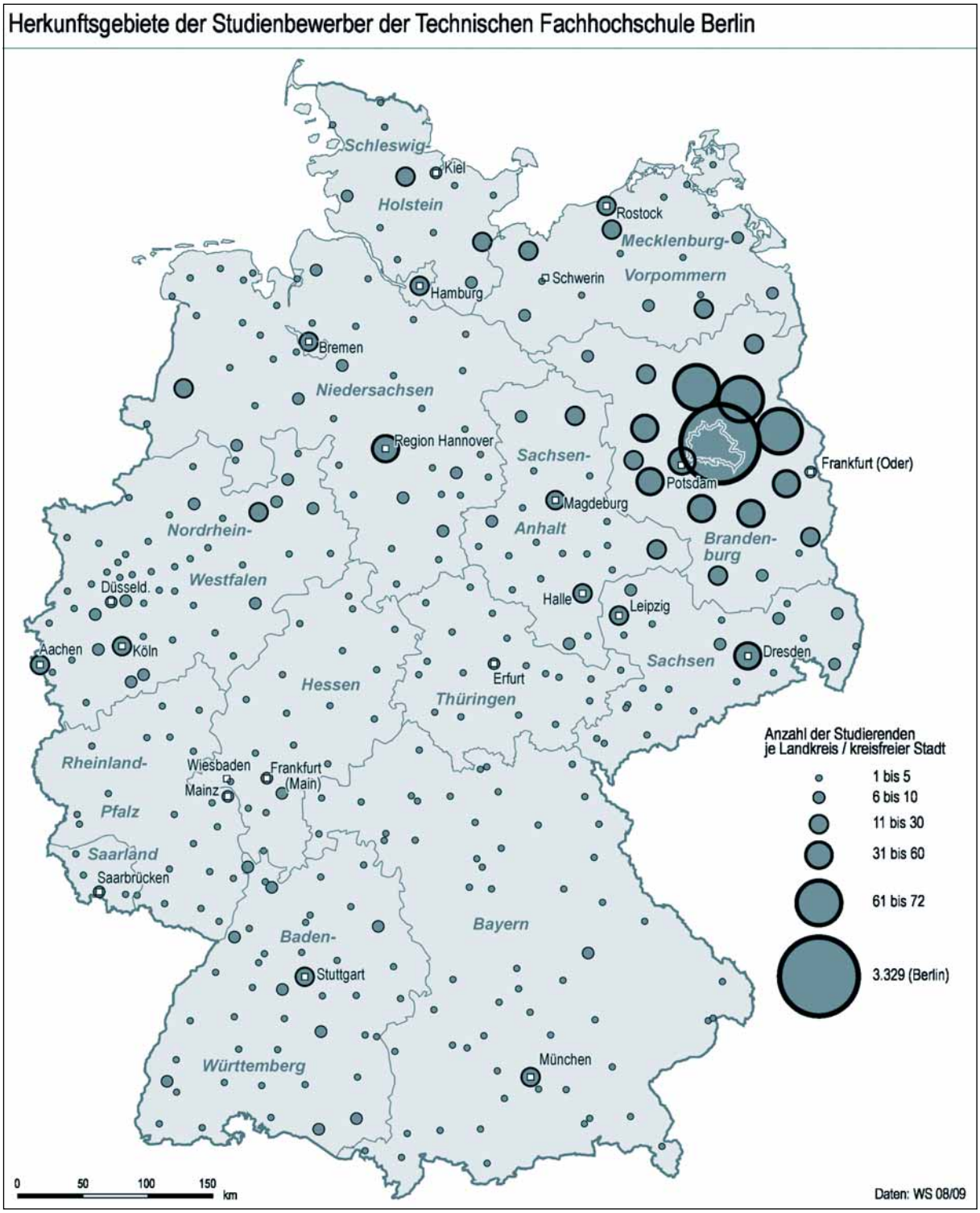


Abb. 1: Herkunft aller Studienbewerber der TFH Berlin für das WS 08/09 zum Zeitpunkt der Bewerbung

Außeruniversitäre Gesichtspunkte, insbesondere die günstige Lage zum Heimatort, persönliche Bindungen und die Anziehungskraft der Stadt spielen bei der Wahl des Studienortes in allen Untersuchungen eine deutlich größere Rolle als Motive wie die Qualität des Lehrangebotes oder das Ansehen der Hochschule [Meu 98]. Bei einer Erhebung an der Universität Köln im WS 1984/85 geben nur 4,3 % der Befragten an, dass

die Konzeption des Studienganges einen wichtigen Gesichtspunkt darstellt, wogegen 33,1 % die räumliche Nähe zum ursprünglichen Wohnort als entscheidend bezeichnen [Nut 91]. Der Hypothese, dass in erster Linie Kostenüberlegungen zu dieser Bildungssesshaftigkeit führen, steht die ebenfalls eingeschränkte Mobilität nach dem Studium entgegen, da über zwei Drittel der Absolventen nach dem Studium eine Beschäftigung in der Nähe der Universität suchen [Fab 01].

Methoden der raumbezogenen Statistik und Visualisierung

Um die Einzugsgebiete der Studiengänge der TFH Berlin zu untersuchen, steht ein anonymisierter Datensatz zur Verfügung, der die regionale Herkunft der Studienbewerber auf PLZ-Basis enthält. Der Datensatz besteht aus einer Tabelle der 5.453 Bewerberinnen und Bewerber um einen Studienplatz an der TFH für das Wintersemester 2008/2009 mit Angabe des gewünschten Bachelor- bzw. Master-Studiengangs. Es werden die Bewerber aus Deutschland mit ihrem Hauptantrag, d.h. dem ersten Studiengangswunsch, in der Analyse berücksichtigt. Zwei Methoden werden in der vorliegenden Analyse herangezogen, um die Daten auszuwerten. Zum einen sind dies thematische Karten, die visuell interpretiert werden, zum anderen wird ein Entfernungsindikator definiert.
Die Herkunftsgebiete aller Studienbewerber der TFH werden in einer Diagrammkarte für die Bundesrepublik Deutschland gezeigt (vgl. Abb. 1). Die auf PLZ-Basis geokodierten Studienbewerber werden auf der Ebene der Landkreise und kreisfreien Städte aggregiert. Da ein großer Teil der Studienbewerber aus Berlin kommt, wird eine zusätzliche Karte von Berlin erstellt. Abb. 2 zeigt die Anteile der Studienbewerber an der Gesamtbevölkerung als Choroplethenkarte auf der Basis der Postleitzahl-Gebiete.
Für jeden Studiengang wird mithilfe eines GIS ein Entfernungsindikator berechnet, der die Einzugsgebiete charakterisiert. Für die raumbezogene Analyse wird zunächst der Lagebezug der Daten hergestellt. Jedem Studienbewerber wird durch Geokodierung der PLZ-Gebiete, aus denen sie sich beworben haben, eine Koordinate zugewiesen. Dazu werden Flächenzentroide als geometrische Mittelpunkte der PLZ-Gebiete berechnet, die als Bezugspunkte für die Geokodierung dienen. Als Grundlage des Entfernungsindikators wird die euklidische Distanz zwischen den PLZ-Zentroiden und dem Hochschulstandort der TFH berechnet. Jedem Studienbewerber wird die Entfernung zu seinem Herkunftsort, repräsentiert durch das PLZ-Gebiet, zugewiesen. Aus den Entfernungen aller Studienbewerber eines Studienganges wird das arithmetische Mittel berechnet. Dieser Mittelwert wird als Entfernungsindikator für einen Studiengang definiert. Der Indikator gibt die durchschnittliche euklidische Distanz aller Studienbewerber eines Studienganges ausgehend vom Wohnort zum Zeitpunkt der Bewerbung zur TFH wieder.

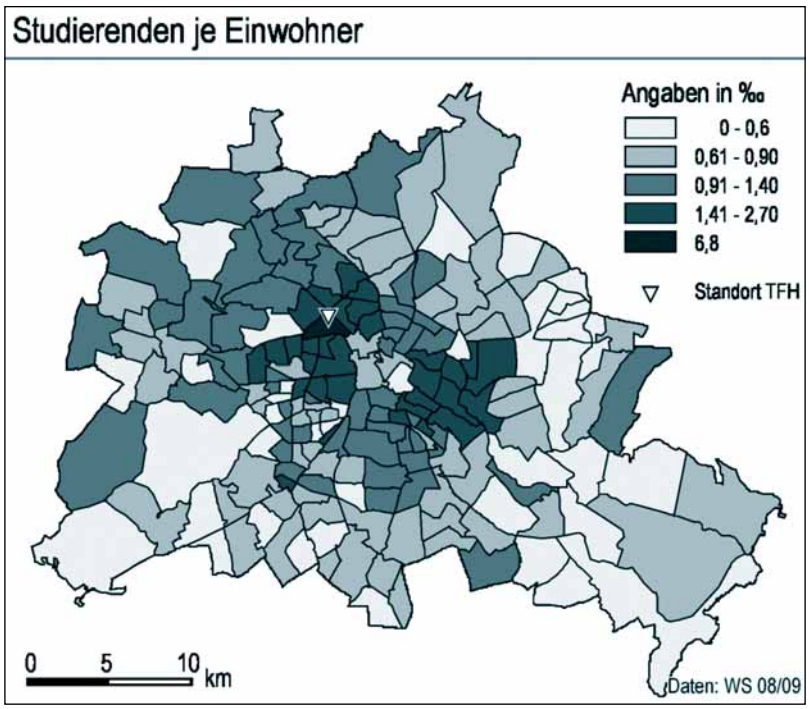


Abb. 2: Anteil der Studienbewerber an der Bevölkerung in Berlin

Ergebnisse

Die durchschnittliche Entfernung der Studienbewerber der TFH beträgt 97 km. Die durchschnittliche Entfernung derer, die sich für das WS 2008/2009 tatsächlich immatrikuliert haben, ist jedoch mit 49 km deutlich niedriger, wobei sich die Studiengänge stark differenzieren. Die größten Einzugsgebiete weisen erwartungsgemäß die drei Master-Fernstudiengänge Computational Engineering, Medizinische Informatik und Industrial Engineering mit durchschnittlichen Entfernungen der Bewerber zwischen 250 und 350 km auf. Dagegen gibt es eine große Anzahl von Studiengängen, die ihre Bewerber hauptsächlich aus Berlin und der näheren Umgebung rekrutieren. Abb. 3 zeigt die Entfernungsindikatoren für alle Bachelorstudiengänge der TFH, die mindestens 10 Immatrikulationen verzeichnen.

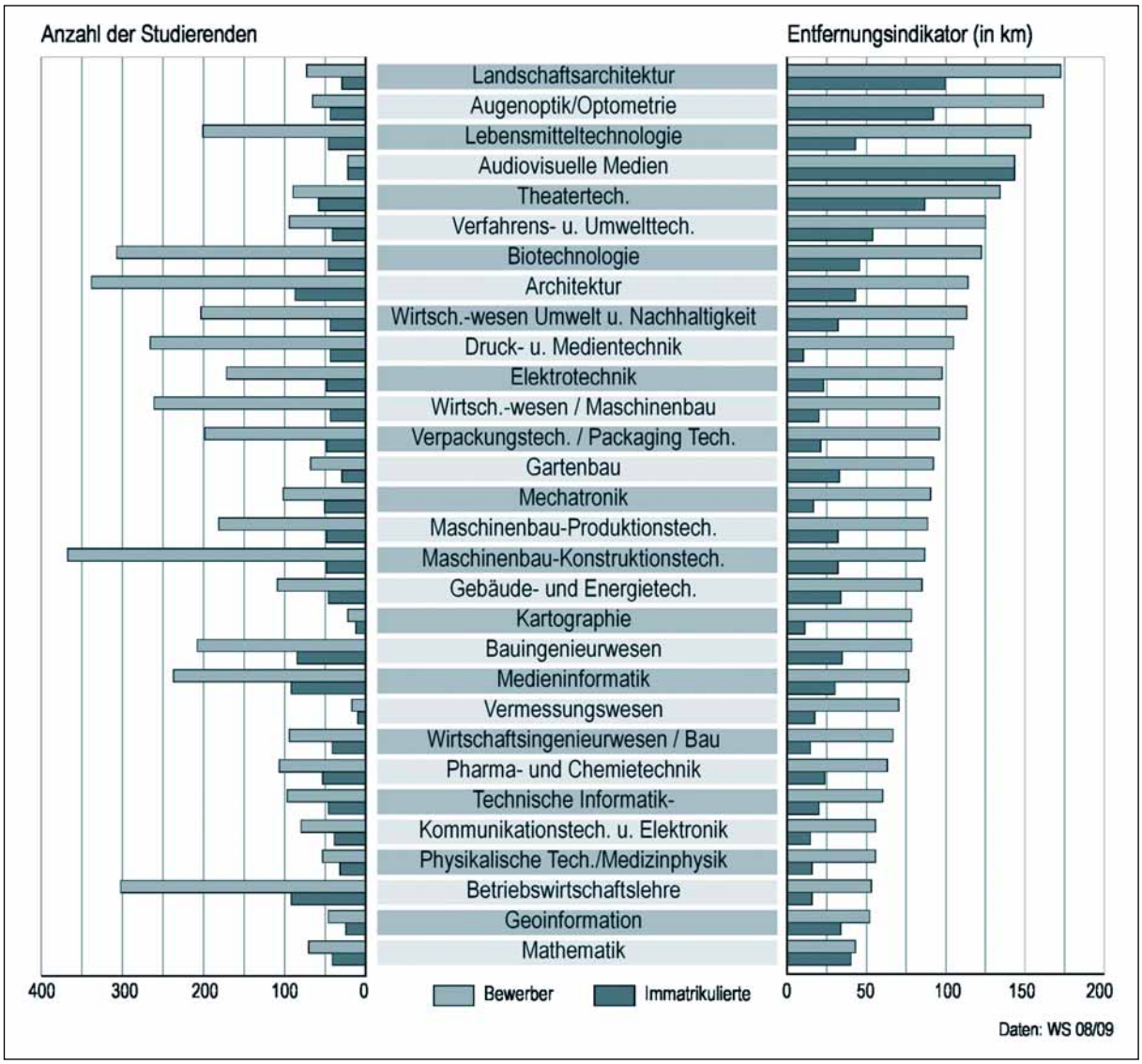


Abb. 3: Anzahl und Entfernungsindikator der Bewerber und Immatrikulierten der Bachelor-Studiengänge mit mindestens 10 Immatrikulationen im WS 2008/2009

Den größten Einzugsbereich hat der Studiengang Landschaftsarchitektur mit 174 km. Wird dagegen die Entfernung der Immatrikulierten ausgewertet, weist der Studiengang Audiovisuelle Medien, in den sich alle Bewerber immatrikuliert haben, mit 145 km das größte Einzugsgebiet auf.

Diskussion und Fazit

Abb. 1 zeigt die regionale Herkunft der Studienbewerber für ein Studium an der TFH. Sie verteilen sich über das ganze Bundesgebiet. Erwartungsgemäß ist zu erkennen, dass die mit Abstand größte Nachfrage aus

Berlin und Brandenburg kommt. Aus den verbleibenden neuen Bundesländern und den nördlichen Bundesländern kommen im Vergleich zu den südlichen Bundesländern tendenziell mehr Studienbewerber. Es wird deutlich und durch das Immatrikulationsverhalten der Bewerber verstärkt, dass die TFH ihre Studierenden vorzugsweise aus der Region rekrutiert. Ausnahmen bilden die Studiengänge, die keine oder wenig Konkurrenz durch andere deutsche Hochschule aufweisen.
In Berlin herrscht bei der Verteilung der Bewerber ein Zentrum-Peripherie-Gefälle vor, das nicht nur durch die ebenfalls nach außen abnehmende Bevölkerungsdichte erklärt wird. Werden die Bewerber auf die Bevölkerung bezogen, ist das Gefälle weiterhin sichtbar (vgl. Abb. 2). Interessant ist, dass Bezirke bzw. Stadteile mit vergleichsweise niedrigem Sozialstatus, wie Wedding, Moabit, Friedrichshain, Kreuzberg und Neukölln, die höchsten Anteile an Studienbewerbern aufweisen. Dies könnte dadurch begründet sein, dass viele dieser Bewerber sich durch eine abgeschlossene Berufsausbildung für ein Studium an der TFH qualifizierten. Zum Zeitpunkt ihrer Bewerbung leben diese Bewerber z.T. nicht mehr bei den Eltern, sondern wohnen in den von Jüngeren bevorzugten Quartieren mit vergleichsweise günstigen Mieten.
Eine Erklärung für die recht unterschiedlichen Einzugsgebiete der in Abb. 3 dargestellten Studiengänge kann nicht ohne eine Analyse der Konkurrenzangebote und spezifischer Fächertraditionen erfolgen. Das Fächerangebot der vergleichbaren Hochschulen spielt eine entscheidende Rolle. Bemerkenswert ist, dass der Entfernungsindikator der Immatrikulierten im Vergleich zu den Studienbewerbern nur etwa halb so hoch ist. Die Ursachen dieser gravierenden Diskrepanz ist vermutlich im Verhalten der Bewerber zu suchen. Es ist anzunehmen, dass sich zwar viele Studierende aus entfernten Regionen an der TFH bewerben, ein Studienplatzangebot einer räumlich näheren Hochschule jedoch vorziehen.
Insgesamt ist zu resümieren, dass der Einzugsbereich der TFH mit einer durchschnittlichen Entfernung der Neuimmatrikulierten im WS 2008/2009 von 49 km sich auf die Grenzen der Agglomeration Berlin, d.h. auf das Stadtgebiet und das naheliegende Brandenburg, den sogenannten Speckgürtel, konzentriert.

Literatur

[Fab 01] Fabel, Oliver; Lehmann, Erik; Warning, Susanne (2001): Der relative Vorteil deutscher wirtschaftswissenschaftlicher Fachbereiche im Wettbewerb um studentischen Zuspruch: Qualität des Studienganges oder des Studienortes? Diskussionsbeiträge der Rechts-, Wirtschafts- und Verwaltungswissenschaftlichen Sektion der Universität Konstanz. Konstanz.

[Gei 65] Geissler, Clemens (1965): Hochschulstandorte – Hochschulbesuch. Schriftenreihe der Arbeitsgruppe Standortforschung, Technische Hochschule Hannover, Bd. 1. Hannover.

[Meu 98] Meusburger, Peter (1998): Bildungsgeographie. Wissen und Ausbildung in der räumlichen Dimension. Heidelberg, Berlin.

[Nut 91] Nutz, Manfred (1991): Räumliche Mobilität der Studierenden und Struktur des Hochschulwesens in der Bundesrepublik Deutschland. Geographisches Institut der Universität zu Köln. Köln.

[Sta 05] Statistisches Bundesamt (Hrsg.)(2005): Hochschulstandort Deutschland 2005. Presseexemplar. Wiesbaden.

[Sta 08] Statistisches Bundesamt (Hrsg.)(2008): Hochschulen auf einen Blick. Ausgabe 2008. Wiesbaden.

Kontakt

Prof. Dr. Jürgen Schweikart
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 2038
E-Mail: schweikart@beuth-hochschule.de

M.Sc. Jonas Pieper
M.Sc. Conrad Franke
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 5449
E-Mail: jpieper@beuth-hochschule.de

Kontinuierliche Deformationsmessungen mit geodätischen Sensoren an einer einzigartigen Schrägseilbrücke in St. Petersburg (Russland)

Prof. Dr. Boris Resnik, Prof. Dr. Mikhail Bryn, Dipl.-Ing. Andrey Nikichin
Forschungsschwerpunkt: Deformationsanalyse

Kurzfassung

Bei dem gegenwärtigen Stand der Deformationsmessungen spielt zunehmend eine intensive Betrachtung der Dynamik von Baukonstruktionen eine wichtige Rolle. Bei bestimmten Voraussetzungen können auch die geodätischen Verfahren sehr erfolgreich bei der Lösung von solchen Aufgaben eingesetzt werden. Diese Tatsache wurde bei den Testmessungen an einer modernen und in vielen Aspekten einzigartigen Schrägseilbrücke in St. Petersburg (Russland) bei einem Kooperationsprojekt von Wissenschaftlern aus Deutschland und Russland erfolgreich bestätigt.
Dieses von den Autoren des Beitrages auf eigene Initiative und mit der aktiven Unterstützung von Leica Geosystems (Moskau) organisierte Projekt wurde im Jahr 2008 erfolgreich abgeschlossen. Zurzeit wird ein weiteres umfangreicheres Kooperationsprojekt zwischen der Beuth Hochschule für Technik Berlin und der Universität für Transportwesen, St. Petersburg, Russland geplant und ein Antrag auf die bis jetzt fehlende Finanzierung durch DAAD und BMBF vorbereitet.

Abstract

Due to the current state of deformation-measurements, and intense observation of the dynamics of building constructions plays an increasing role. According to specific conditions, geodetical procedures can be successfully used for solving such tasks. This fact was successfully confirmed by test-measurements on a modern and unique cable-stayed bridge in St. Petersburg (Russia) in a cooperation project of Russian and German scientists.

Beschreibung des Bauwerkes

Mit dem Ausbau der Infrastruktur in Russland wurden in den letzten Jahren viele große verkehrstechnische Bauwerke erstellt. Zu solchen Bauwerken mit einer überregionalen Bedeutung gehört auch die Koltcevaya avtomobilnaya doroga (KAD). Dieser achtspurige Autobahnring um die Millionenstadt St. Petersburg mit einer Gesamtlänge von etwa 160 km wurde inzwischen zum großen Teil der Nutzung durch den Straßenverkehr übergeben. Im Zuge des Baus musste u.a. der Fluss Newa überquert werden, der mit rund 2.500 m^3/s einen größeren durchschnittlichen Wasserabfluss als z.B. der Rhein aufweist. Zur Ausführung wurde eine Zwillings-Schrägseilbrückenkonstruktion angenommen, die in ihrer Bauweise speziell an die Bedingungen in Nordrussland angepasst ist und dabei neue Wege in der Konstruktion beschreitet.

Abb. 1: Teilnehmer von Testmessungen an der Großen Obukhovsky Brücke, St. Petersburg, September 2008

Dieses als Große Obukhovsky Brücke (Bolshoy Obukhovsky most) bezeichnete Bauwerk wird von 56 Kabelpaaren an zwei A-Pylonen gehalten und weist mit den beiden Rampen eine Gesamtlänge von 2824 m aus. Die Mittelspannweite beträgt 382 m und die Höhe des Überbaus etwa 30 m. Dadurch wird erstmals in der Geschichte der Stadt

eine ununterbrochene Autoverkehrsverbindung bei laufendem Schiffsverkehr ermöglicht. Während der erste, 25 m breite, Teil der Brücke bereits im Jahre 2004 dem Verkehr übergeben wurde, wurde die zweite Zwillingskonstruktion erst im 2007 fertiggestellt (Abb 1). Wie auch bei anderen großen Bauvorhaben lassen sich die Aufgaben der Vermessung bei der Herstellung der Brücke vereinfacht in zwei Hauptaufgaben unterteilen, welche begrifflich in Entwurfsvermessung und Bauvermessung gefasst werden können. Die wichtigste Aufgabe der Vermessung in der Planungsphase der Kanalbrücke war es, die Örtlichkeit verkleinert und generalisiert in das Planungsbüro zu übertragen. Auf der Grundlage der Karte wurde dann ein Entwurf entwickelt und dieses Vorhaben in Relation zur Örtlichkeit dargestellt. Die Tatsache, dass das betrachtete Bauwerk sich nach seiner Vollendung in seinem Verlauf und seiner Gestaltung harmonisch präsentiert und seine Aufgaben einwandfrei erfüllen kann, ist unter Anderem ein Verdienst der Bauvermessung: Sie hat die richtige Stelle, Höhe und räumliche Orientierung der Bauteile sichergestellt. Die Arbeitsgruppe der Universität für Transportwesen (PGUPS), St. Petersburg, nahm an der Erfüllung der genannten Vermessungsaufgaben teil. So wurde z.B. von den Autoren dieses Beitrages ein spezielles präzises Grundlagenetz auf den beiden Flussufern geschaffen. Im vorliegenden Beitrag werden die aktuellen vermessungstechnischen Leistungen im Zuge der Unterhaltung des Bauwerkes im Bezug auf dieses Netz konkreter behandelt.

Kontinuierliche Deformationsmessungen mit geodätischen Sensoren

Grundlegende Aufgabe geodätischer Überwachungsmessungen ist es, einen Nachweis über die Bewegungen und Verformungen eines Messobjektes in Raum und Zeit zu erbringen. Wie bei allen komplexen Bauwerken sind auch bei der betrachteten Brücke unterschiedliche Bewegungen und Verformungen im Laufe der Zeit zu erwarten. Ihre Ursachen sind äußere und innere Einflüsse, wie z.B. Eigengewicht, Kräfte im Gründungsbereich, Temperaturdifferenzen am Bauwerk, Wind, Verkehr usw. Das Frequenzerhaltungsprinzip von dynamischen Systemen besagt, dass in einer Ausgangsgröße (Deformationen) nur Frequenzen erhalten sein können, die auch im Spektrum des Eingangs (Einflüsse) enthalten sind. Das heißt, dass im konkreten Fall die Methodik der Deformationsmessungen dem Ablauf der oben genannten Ursachen angepasst werden muss (Abb. 2).

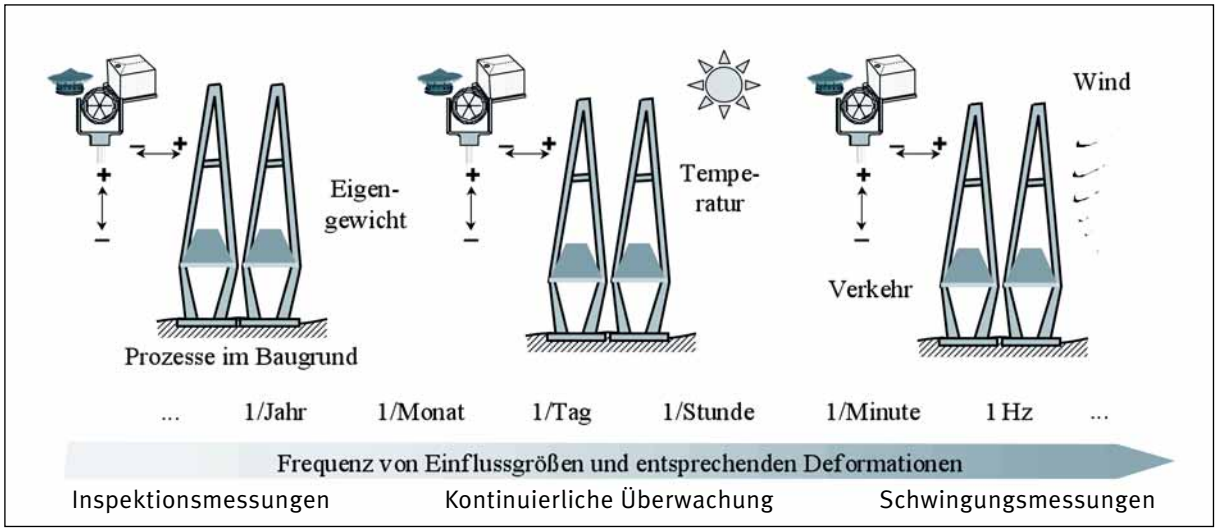


Abb. 2: Klassifizieren von Einflussgrößen (exemplarisch) und Deformationsmessungen

Eine Deformationsanalyse wird im Vermessungswesen meistens als komplexe Ausgleichungsaufgabe eines Überwachungsnetzes verstanden. Die Bezugspunkte geben dabei den relativen geodätischen Messungen einen absoluten Bezug und erlauben, die Ergebnisse zweier oder mehrerer Beobachtungsepochen miteinander zu vergleichen und somit die signifikanten Verformungen des überwachten Objektes über große Zeitintervalle aufzudecken. Nachweise dieser Art zur Betriebssicherheit des betrachteten Bauwerkes wurden inzwischen unter Teilnahme von Autoren des Beitrages in regelmäßigen Abständen erbracht und dem bautechnischen Dienst zur Beurteilung des Tragwerkverhaltens vorgelegt. Diese Methodik entspricht den vorgeschrieben regelmäßigen Inspektionsmessungen in Deutschland und wird in diesem Beitrag nicht näher behandelt.
Die Strukturen von modernen Bauwerken werden immer filigraner und graziler, während die Belastungen auf sie kontinuierlich zunehmen. Je leichter die Bauwerke sind, desto erheblicher können sie sich durch natürliche Anregungen verformen. Das betrachtete Bauwerk stellt mit den temperaturbedingten Tagesbewegungen

des Überbaus im Dezimeter-Bereich und seinen empfindlichen Schwingungen durch Wind oder Verkehr ein typisches Beispiel dieser Art dar. Solche Deformationen sind maßgebend für die Standsicherheit des Bauwerkes und wurden selbstverständlich sowohl mit modernen Computerprogrammen als auch im Windkanal im Voraus geprüft. Durch die messtechnische Erfassung der empirischen, dynamischen Charakteristik kann das ausgewählte Rechenmodell verifiziert bzw. der Realität angepasst werden. Für diese Zwecke wurde die Brücke mit einem typischen geotechnischen Überwachungssystem zur Ermittlung von Kräften und Beschleunigungen in den tragenden Konstruktionen ausgerüstet. Dieses System wurde bereits erfolgreich benutzt, um die erforderlichen Anpassungen für die Konstruktionsarbeiten im laufenden Prozess vorzunehmen bzw. die Entwurfsparameter durch Vergleich der gemessenen Dehnungen, Verschiebungen und Beschleunigungen zu verifizieren.
Durch die rasante Entwicklung der Mikroelektronik können nicht nur Sensoren im geotechnischen Bereich, wie z.B. elektrische Weggeber, Lotanlagen oder Neigungssensoren sondern auch die „klassischen“ geodätischen Instrumente, wie motorisierte Tachymeter oder GPS-Empfänger im Routinebetrieb ohne einen Bediener auskommen und Messwerte mit hohen Abtastfrequenzen liefern. Sie können somit in Verbindung mit bereits vorhandenen geotechnischen Messeinrichtungen eingesetzt werden, um zusätzliche Informationen zu den relativen Bewegungen zu liefern und damit die Interpretation der Bewegungsursachen zu erleichtern.
Im Laufe der umfangreichen Testmessungen im September 2008 wurde von Autoren des Beitrages mit freundlicher Unterstützung der Regionalen Vertretung von Leica Geosystems in Russland ein Versuch unternommen, eine adäquate, der Problemstellung angepasste, die Anforderung an die Genauigkeit erfüllende und zugleich kostengünstige Lösung für solche Aufgaben zu finden.
Bei den Testmessungen wurde angestrebt, in einem Zeitfenster von 24 Stunden die tagesabhängigen periodischen Bewegungen des Überbaus und seine Schwingungen an charakteristischen Punkten des Bauwerkes zu dokumentieren und zu analysieren. Da zur Kontrolle der Ergebnisse immer mehrere unabhängige Verfahren zum Einsatz kommen sollen, wurden dabei parallele Messungen mit einem elektronischen Tachymeter (Leica TPS 1205), mehreren GPS-Empfängern (u.a. Leica GMX902) und einem Neigungssensor (Leica Nivel 220) durchgeführt. Solche kinematischen Messungen beschreiben den Ablauf der Verformung des Bauwerkes ausschließlich durch Parameter des Ortes (Koordinaten bzw. Neigungen) und der Zeit. Bei diesem Ansatz wird eine Prognose über das zukünftige Objektverhalten nur dann möglich, wenn sich alle Einflussgrößen (Temperatur, Verkehr, Wind usw.) in der Art verhalten, wie sie es im Beobachtungszeitraum getan hatten. Um die Analyse für beliebige Bedingungen zu ermöglichen, wurden deswegen zusätzlich kontinuierliche Temperatur- und Windmessungen durchgeführt und Fahrzeugdurchfahrten mit einer Digitalkamera über ganze Messzeit registriert.

Analyse von Testmessungen

Während die kombinierten geodätischen und geotechnischen Messungen, von Entwicklung und Herstellung der Sensoren abgesehen, immer einfacher werden, erfordert ihre gemeinsame Auswertung umfangreiche mathematische Kenntnisse und kann unter Umständen sehr zeitaufwendig sein. Dabei sind mehrere Schritte wie Datenaufbereitung, Füllen von eventuell vorhandenen Lücken, Herstellung von Äquidistanz, Trennung von niedrigfrequenten und hochfrequenten Anteilen, Approximation, Korrelations- und Frequenzanalyse, um hier nur einzelne typische Beispiele zu nennen, erforderlich [1]. Eine solche Auswertung wird dadurch erschwert, dass in diesem Bereich zurzeit keine speziell für diese Zwecke entwickelten kommerziellen Computerprogramme, wie z.B. für die Auswertung von konventionellen Deformationsnetzen, vorhanden und die Anwender bei der nachträglichen Analyse zumeist auf eigene Programme in einer passenden Umgebung angewiesen sind.
Da die Beschreibung aller Mess- und Auswertungsergebnisse den Umfang des Beitrages sprengen würde, sollen hier nur die Messungen mit dem elektronischen Tachymeter näher behandelt werden. Dabei wurde aus den oben genannten Gründen (Abb. 2) zwischen einer Kontrolle von tagesabhängigen Bewegungen und hochfrequenten Schwingungen des Überbaus unterschieden. In beiden Fällen wurde ein auf einem Messpfeiler abgesichert installiertes elektronisches Tachymeter mit einer externen Stromversorgung verwendet. Da bei der Kontrolle von tagesabhängigen Bewegungen Messungen zu mehren Reflektoren mit der vorgegebenen Reihenfolge (etwa ein Mal pro 10 Minuten in beiden Lagen) erfolgen sollten, wurde die Steuerung des Messgeräts von einem Feldcomputer mit dem Programm „GeoMos“ (Leica) durchgeführt. Zur Kontrolle von Schwingungen mit den höchstmöglichen Messfrequenzen von etwa 7 Hz musste dagegen nur ein einziges Prisma in einem kleinem Zeitintervall von etwa einer halben Stunde und die Datenregistrierung mit einem speziell für diese Zwecke geschriebenen Programm eingesetzt werden.

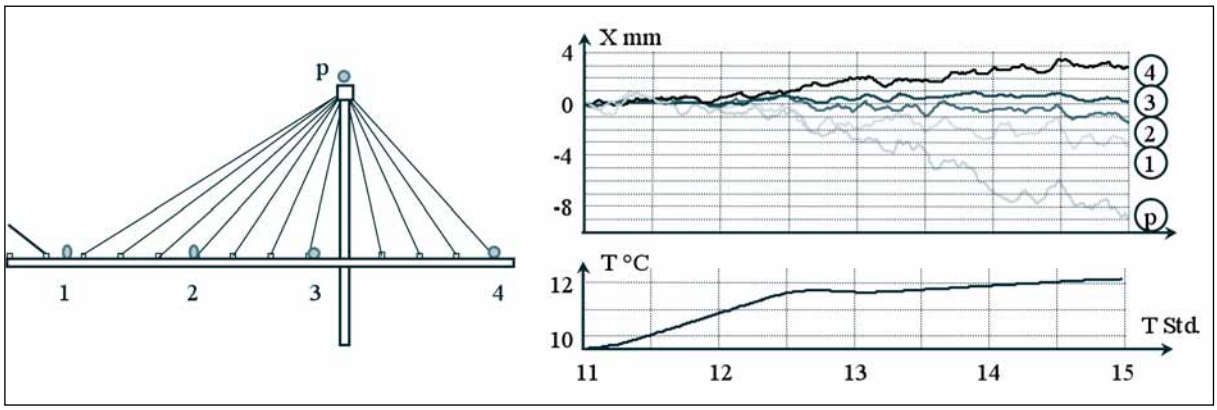
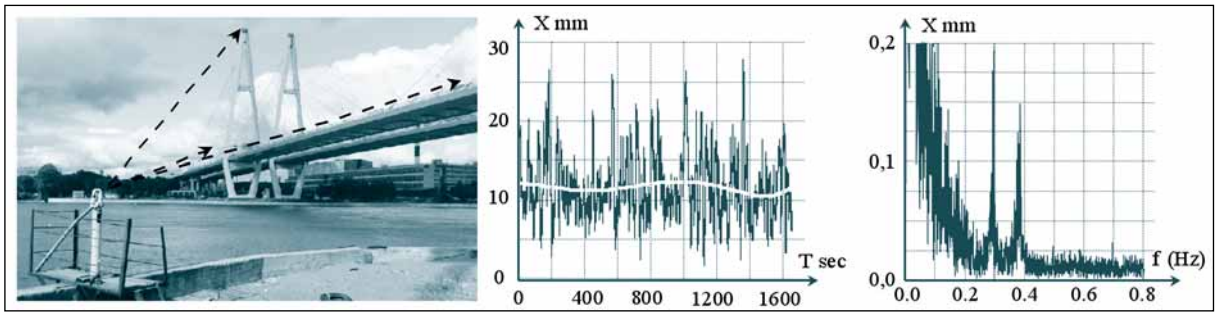


Abb. 3: Approximations- und Erklärungsmodelle (typisches Beispiel)



Motorisierte Tachymeter und Zielpunkte Messungen Frequenzanalyse

Abb. 4: Untersuchung des Datenmaterials auf vorhandene Periodizitäten (typisches Beispiel)

Bei kontinuierlichen Überwachungsmessungen mit geodätischen Sensoren müssen rechtzeitig erste Gefahrenzeichen erkannt und notwendige Maßnahmen ergriffen werden. Allerdings muss dabei für eine „fehlerfreie“ Interpretation das erwartete Normalverhalten des Bauwerkes z.B. bei der steigenden Temperatur gut bekannt sein. Abb. 3 stellt einen typischen tiefpassgefilterten Bewegungsverlauf quer zur Brückenachse von 11:00 bis 15:00 Uhr eines Messtages dar. Anhand dieser Messungen können unter anderem die erforderlichen Parameter der linearen Regression für die weitere Benutzung des Verfahrens ermittelt werden.
Die Abtastrate von Messsensoren sollte bei der Erfassung von Schwingungen bekanntermaßen so gewählt werden, dass sie doppelt so groß ist wie die höchste zu untersuchende Frequenz. Durch Beschränkung auf die geodätischen Messverfahren wird die Erfassung schnell ablaufender periodischer Bewegungsvorgänge mit Frequenzen bis etwa 2,5 - 5 Hz möglich. Die Untersuchung des Datenmaterials auf vorhandene Periodizitäten mit der Fast-Fourier-Transformation (FFT) wird für einen typischen Kontrollpunkt in der Abb. 4 präsentiert. Die Bauwerke werden nur geringfügig zu erzwungenen Schwingungen angeregt, solange sich die Frequenzen von der sog. Eigenfrequenz deutlich unterscheiden. Die Tatsache, dass die Frequenzen von 0,3 und 0,4 Hz wirklich als solche zu betrachten sind, wurde mit den parallelen Messungen mit GPS-Antennen ausdrücklich bestätigt.

Zusammenfassung

Da immer häufiger Bauwerke an Stellen errichtet werden, die von ihren natürlichen Voraussetzungen für diese Zwecke wenig geeignet sind, wird die Bedeutung von Überwachungsmessungen und auch von kontinuierlichen Messungen mit geodätischen Verfahren in Zukunft weiter zunehmen. Da ein Vergleich der vorausberechneten und beobachteten Deformationsgrößen wertvolle Rückschlüsse auf das Verhalten des Bauwerkes erlaubt, ist ihre messtechnische Erfassung besonders bei den einzigartigen Konstruktionen von sehr großer Bedeutung. Die beschrieben Testmessungen beweisen, dass die erfolgreiche Lösung von solchen Aufgaben mit den geodätischen Sensoren unter Voraussetzung einer intensiven interdisziplinären Zusammenarbeit möglich sind.

Literatur

[1] Resnik, B. (2007): Auswertung von hochfrequenten Deformationsmessungen mit geodätischen Sensoren. Forschungsbericht Technische Fachhochschule Berlin 2007. S. 91-95.

Kontakt

Prof. Dr. Boris Resnik
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 2596
E-Mail: resnik@beuth-hochschule.de

Prof. Dr. Mikhail Bryn
Dipl.-Ing. Andrey Nikichin
Universität für Transportwesen (PGUPS)
Sankt Petersburg, Russland

Lorowerk
90 x 128 4C
Platzierung
ohne

Entwicklung eines direkten Wärmetauschers für einen Brennwertkessel

Prof. Dr. Elfriede Herzog Forschungsschwerpunkt: Gebäudetechnik

Kurzfassung

An der TFH Berlin wird im Labor für Heiztechnik ein neues Brennwertsystem für Erdgas entwickelt. In diesem Brennwertsystem kommen ein Wasserbettbrenner und ein direkter Wärmetauscher zum Einsatz. Diese beiden Bauteile führen in einem alternativen Brennwertsystem zu einer verbesserten Nutzung der im Brennstoff gebundenen Energie und ermöglichen gleichzeitig eine Materialersparnis, eine Senkung des Energieeinsatzes sowie eine Verringerung der Produktionskosten.

Abstract

A new condensing burning system for natural gas is being developed in the laboratory of heating technology at the TFH Berlin. For this alternative burning system a waterbed burner and a direct heat exchanger are used. The aim of the development is saving energy and material as well as a reduction of the production cost.

Einleitung

Das neu entwickelte Brennwertsystem besteht aus einem Wasserbettbrenner mit einer Zuführungs- und Verteilungseinheit für das Gas-Luft-Gemisch. Das Brenngasgemisch strömt durch das Wasserbett und wird an der Wasseroberfläche sicher und schadgasarm verbrannt [Her 07]. Das zweite Bauteil ist ein direkter Wärmetauscher, bei dem ein direkter Kontakt zwischen dem Abgas und dem Heizmittel im Brennraum besteht. In einem nächsten Schritt überträgt das Heizmittel die aufgenommene Wärme in einem Plattenwärmetauscher an das Anlagenwasser.

Direkter Wärmetauscher

Beim direkten Wärmetauscher steht das Abgas im direkten Kontakt mit dem Heizmittel. Dies führt zu einer Veränderung der Wärmeübertragungsvorgänge. Direkte Wärmetauscher werden bis heute in Heizkesseln nicht eingesetzt. Jedoch wird ein ähnliches Prinzip bei der Hochtemperatur-Brennwertnutzung an BHKW (Blockheizkraftwerken) im weiteren Abgasweg angewandt [Ruc 05]. Das Prinzip des direkten Wärme- und Stofftransportes kommt in der Verfahrenstechnik häufig zur Anwendung, jedoch liegen dann andere Verhältnisse vor.

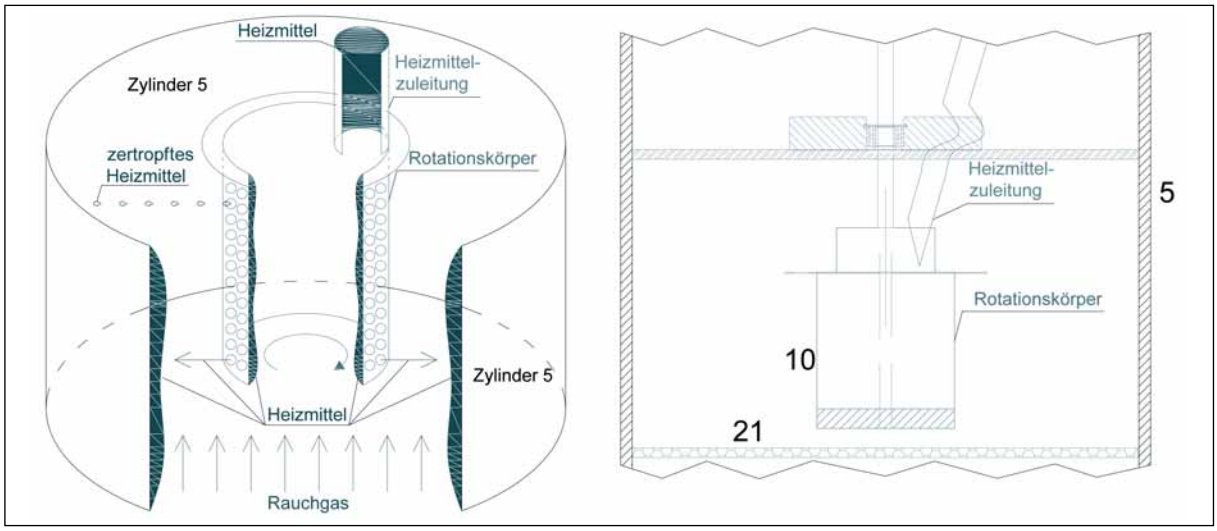


Abb. 1: Darstellung der Verläufe der Abgase und des Heizmittels im direkten Wärmetauscher/5: Zylinder, 10: Rotationskörper, 21: Blech zur Strömungsvergleichmäßigung [Rie 07]

In experimentellen Untersuchungen konnte der erfolgreiche Einsatz eines direkten Wärmetauschers in einem gasbefeuerten Kessel nachgewiesen werden. Als ein geeignetes Zertropfungssystem wurde eine Rotationsverteilungseinheit ausgewählt. Der zum Einsatz kommende Rotationskörper besteht aus einem Hohlzylinder, dessen Außenfläche durch eine Vielzahl von Bohrungen und Schlitzen profiliert ist und eine Porosität von 14,2 % aufweist (Abb. 1). Das Abgas strömt von unten durch einen mit Wassertropfen erfüllten Ringspalt und gibt dabei die Wärme an das Wasser ab, welches dann als Film an den zylindrischen Wänden des Brennraumes abläuft. Das Heizmedium wird durch den Rotationskörper in feine Tropfen zerteilt, wenn Wasservolumenstrom und Drehzahl ausreichend sind. Das Tropfenbild in Abhängigkeit von der Drehzahl ist im Abb. 2 dargestellt. Eine gute Verteilung ergab sich bei einem Wasservolumenstrom von 1000 l/h und einer Drehzahl von ca. 1400 Umdrehungen pro Minute.

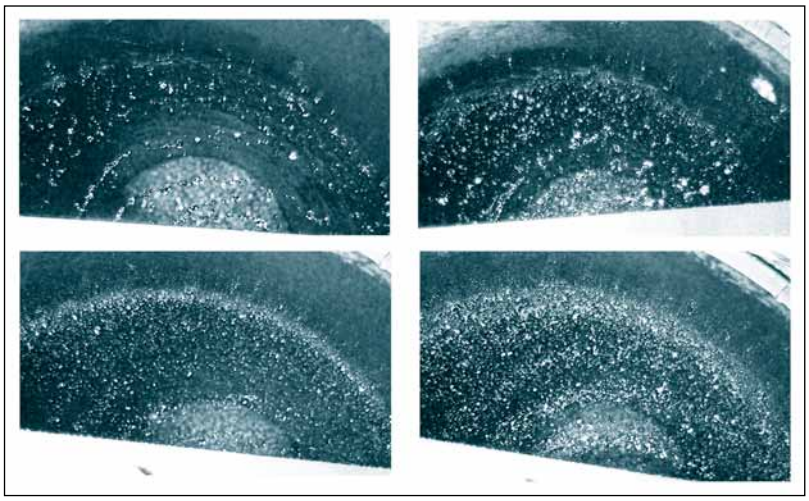
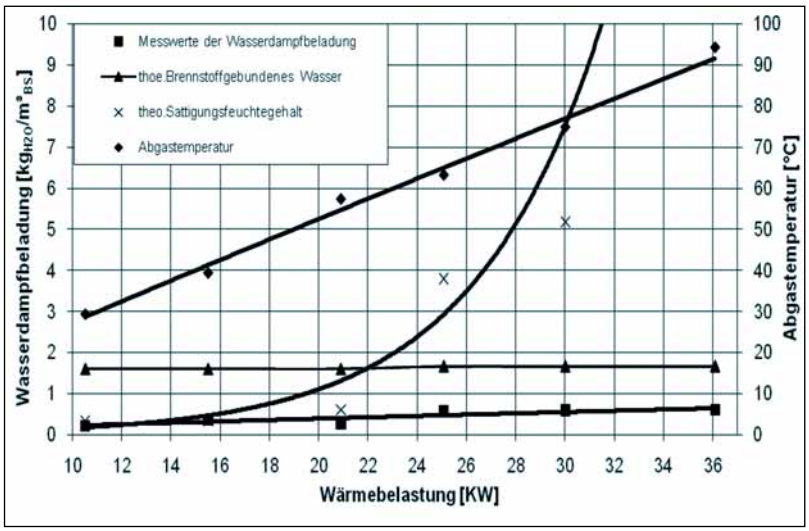


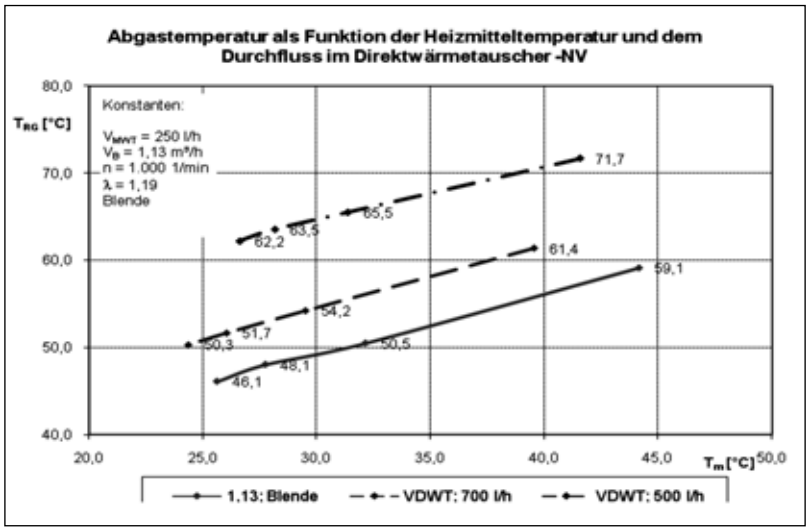
Abb. 2: Tröpfchenverteilung mit Rotationskörper 1 bei n=1400min^{-1} bei Wasserdurchsätzen von 500 – 1000 l/h, [Rie 06]

Die wesentlichen Einflussgrößen wurden in Modellaufbauten experimentell untersucht und sind in den nachfolgenden Diagrammen (Diag. 1-3) beispielhaft aufgezeigt.

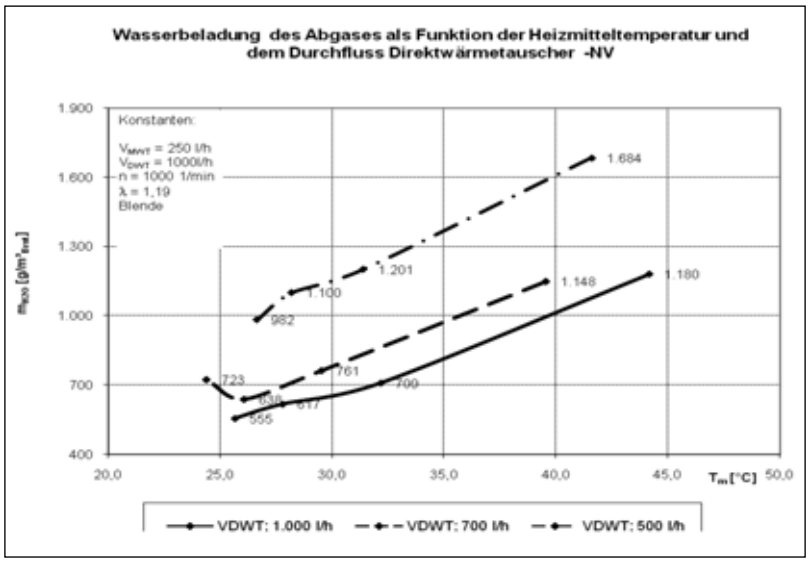


Diag. 1: Abhängigkeit der Abgastemperatur und der Restwassermenge im Abgas als Funktion der Belastung mit Rotationskörper, V_{DWT}= 900l/h, $\vartheta_{E,DWT}$=11°C [Rie 06]

Mit den Wassertropfen wurden auch bei Abgastemperaturen weit über der Taupunktkondensation ein guter Brennwertnutzen erreicht. In weiteren Untersuchungen wurde der Einfluss der mittleren Heizwassertemperatur und des zerstäubten Wasservolumenstroms bei einer konstanten Belastung von 11 kW untersucht.



Diag. 2: Abgastemperatur als Funktion der Heizmitteltemperatur und des zerstäubten Wasservolumenstromes (V_{DWT}) bei einer Belastung ca. 11 kW,NV [Bey 08]



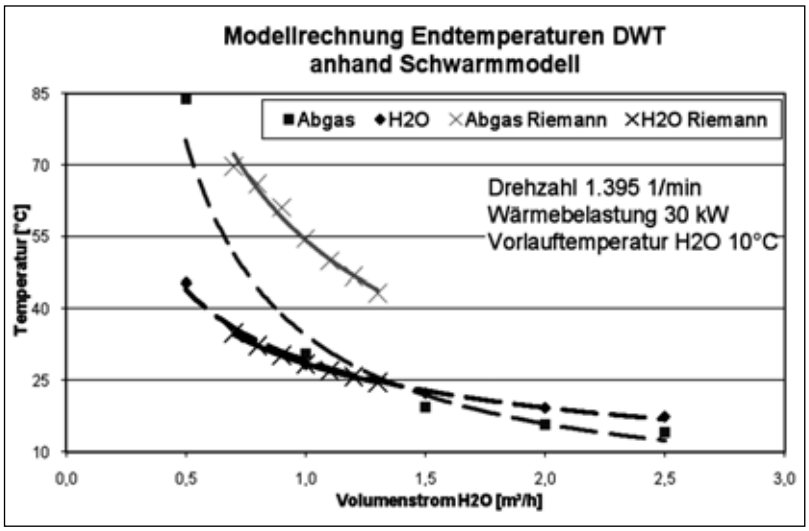
Diag. 3: Restwassergehalt im Abgas als Funktion der Heizmitteltemperatur und des zerstäubten Wasservolumenstromes (V_{DWT}) bei einer Belastung von ca. 11 kW, NV [Bey 07]

Mit einem direkten Wärmetauscher kann auch bei geringem zerstäubtem Wasservolumenstrom ein guter Brennwertnutzen bei Abgastemperaturen über der Taupunkttemperatur sowie einer mittleren Heizwassertemperatur unter 40°C erreicht werden (Diag. 2 und 3). In einem weiteren Schritt wird die Wärmeübertragung im direkten Wärmetauscher in einem Simulationsprogramm abgebildet. Die ersten Berechnungen erfolgten auf Basis des Schwarm- und Kanalmodells, eines zweiphasigen Strömungsmodells mit Stoff- und Energietransport [Wie 87].

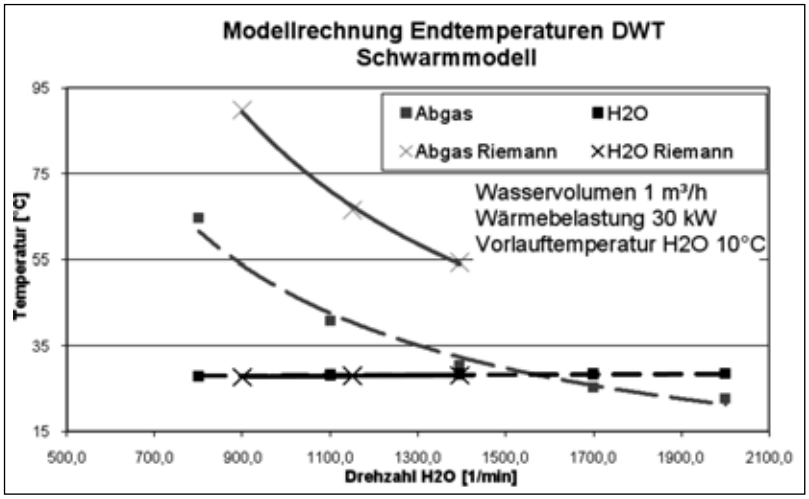
Für die Berechnungen werden zusätzlich die folgenden Annahmen getroffen:

- Die v-Tropfen strömen tangential vom Rotationskörper weg.
- Die Geschwindigkeit der Tropfen entspricht der Umfangsgeschwindigkeit und ist über den Strömungsweg konstant.
- Die Wassertropfen strömen in Form eines Wasserfilms an der zylindrischen Kesselwand herab, ohne dass es zu einer weiteren Zertropfung kommt.
- Bei der Wärmeübertragung zwischen dem Abgas und dem Wasser liegt ein Kreuzstrom vor.
- Es wird angenommen, dass die Medien Abgas und Wasser als quasi homogen vorliegen und die Geschwindigkeit örtlich und zeitlich konstant ist.
- Die im Abgas gebundene Wärme wird nur an das Wasser im Direktwärmetauscher übertragen.

Die mit den Rotationszerstäubern erzeugte Tröpfchenverteilung wird über den Sauterdurchmesser charakterisiert [Ric 04] und beträgt für den untersuchten Rotationskörper ca. 0,00055 m. Erwartungsgemäß sind die folgenden Abhängigkeiten erkennbar: Der Sauterdurchmesser sinkt mit steigender Temperatur des Wassers, steigt mit steigendem zerstäubtem Wasservolumenstrom und sinkt mit steigender Drehzahl. Die zu erwartenden Endtemperaturen des Abgases und des Wassers können mit der Kenntnis des Sauterdurchmessers und der Porosität auf Basis des Schwarmmodells bestimmt und den experimentell ermittelten Werten gegenübergestellt werden.



Diag. 4: Abhängigkeit der Abgas- und der Wassertemperatur im direkten Wärmetauscher (DWT) als Funktion des zerstäubten Volumenstromes: Ergebnisse der Modellberechnungen nach dem Schwarmmodell [Bey 07]



Diag. 5: Abhängigkeit der Abgas- und der Wassertemperatur im direkten Wärmetauscher (DWT) als Funktion der Drehzahl: Ergebnisse der Modellberechnungen nach dem Schwarmmodell [Bey 07]

Die Diag. 4 und 5 zeigen, dass mit der Modellrechnung die sich einstellenden Wassertemperaturen im Direktwärmetauscher gut mit den jeweiligen Messergebnissen übereinstimmen. Die berechneten Temperaturen des Abgases weichen jedoch deutlich von den experimentell ermittelten Werten ab, wobei eine Ähnlichkeit im Kurvenverlauf besteht.
Für eine genauere Berechnung der Abgastemperaturen wurde auf Basis des Schwarmmodells eine Simulation des Direktwärmetauschers vorgenommen. Der ringförmige Raum zwischen der Brennraumwand und dem Rotationszylinder wird in 20 x 20 x 10 volumengleiche Segmente unterteilt (Abb. 3), sodass der Direktwärmetauscher in 4000 Segmenten berechnet werden kann.

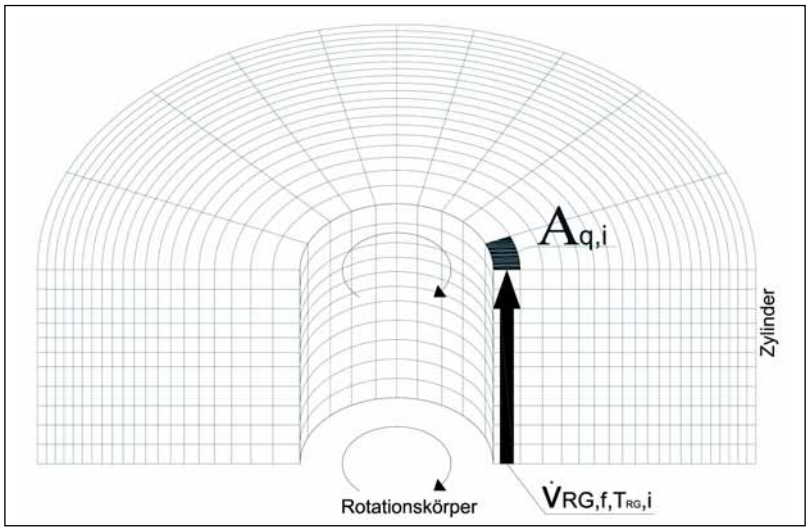
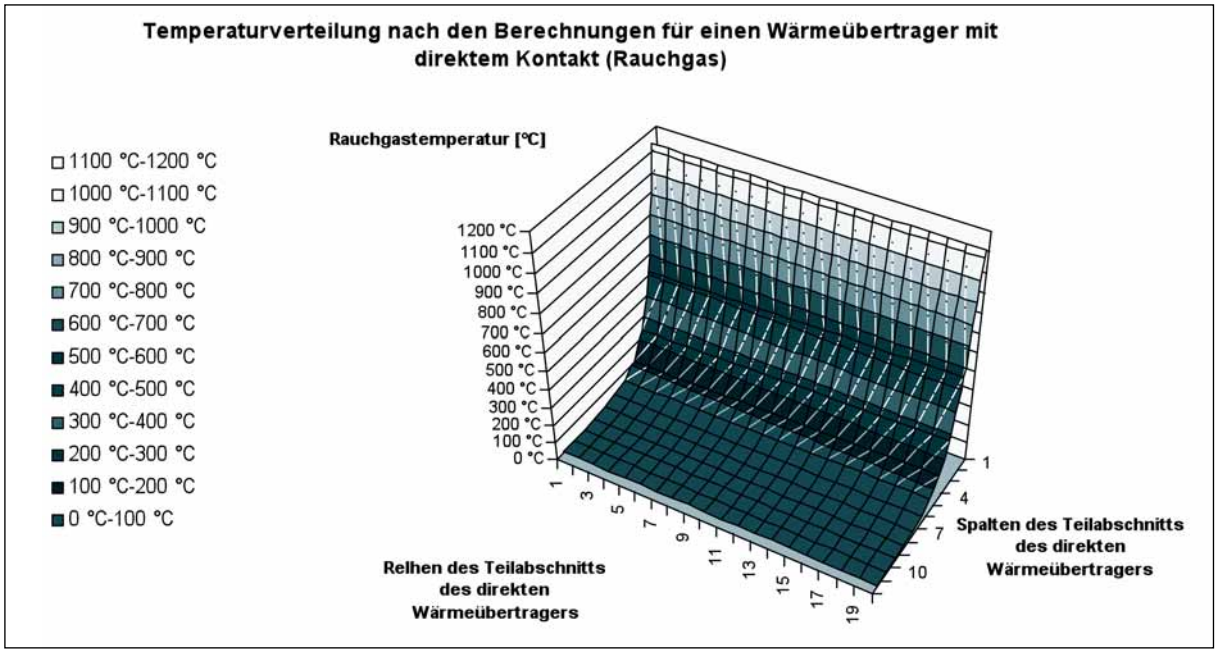


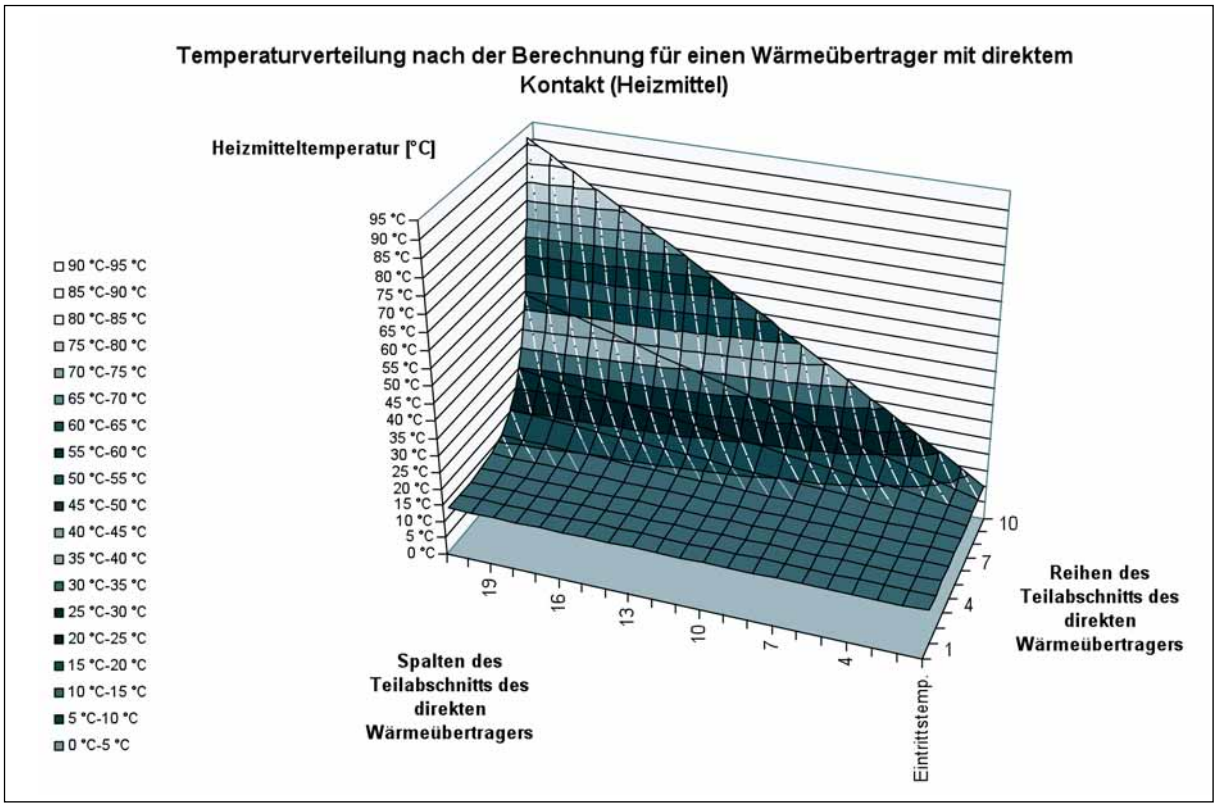
Abb. 3: Darstellung des Berechnungsmodells und der Verteilung des Abgasvolumenstromes in einer Segmentreihe [Rie 07]

Die Ergebnisse der Simulation zum Verlauf der Temperatur über die Höhe des Rotationszylinders für das Abgas und Heizmittel sind in den Diag. 6 und 7 dargestellt. Die Wärmeübertragung vom Abgas an das Heizmedium findet in den ersten Teilebenen (0,04-0,05m) des direkten Wärmetauschers statt. Das zerstäubte Wasser in der dem Abgas zugeneigten Seite des Rotationszerstäubers erwärmt sich auf seinem Weg durch den Ringspalt und erreicht in Wandnähe Temperaturen bis über 90°C. Jedoch gilt dies nur für die wandnahen Teilebenen, die im direkten Kontakt mit den heißen Abgasen stehen. Die Abgastemperatur kühlt sich über dem Ringspalt auf Werte unter 100°C ab. Den Simulationsergebnissen nach kann die Höhe des direkten Wärmetauschers um die Hälfte reduziert werden. Dies wurde in einem weiteren Modellaufbau mit einer neuen Rotationsverteilungseinheit bestätigt. Der Vergleich der Simulationsergebnisse mit den experimentell ermittelten Daten ist in Diag. 8 zu sehen.

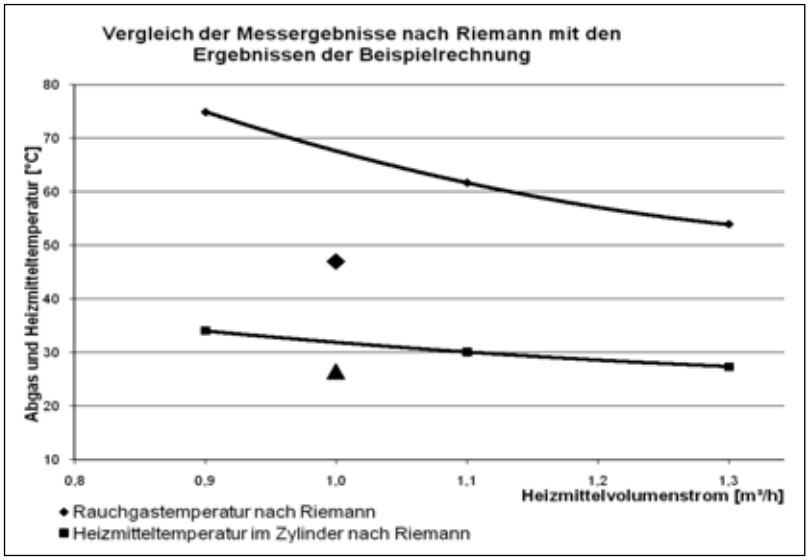


Diag. 6: Verlauf der Abgastemperatur über die Höhe des Rotationszerstäubers n=1395 min^{-1}, V=1000 l/h, Q=30 kW [Rie 07]

Das Simulationsmodell auf Basis des Schwarmmodells ist für die Abbildung der ablaufenden Vorgänge beim Energie- und Stofftransport nicht ausreichend geeignet. Weitere Berechnungen zur Berücksichtigung der Verdampfung mittels der Merkel'schen Hauptgleichung [Wie 87] führten ebenfalls zu keiner Verbesserung. Für weitere Berechnungen müssen detailliertere Informationen zu den Vorgängen der Zertropfung und der Verdampfung in der Grenzfläche [Gud 24] sowie der anschließenden Kondensation in der Grenzschicht der Wassertropfen erarbeitet werden [Gut 09], [War 07].



Diag. 7: Verlauf der Heizmitteltemperatur über die Höhe des Rotationszerstäubers n=1395 min^{-1}, V=1000l/h, Q=30kW [Rie 07]



Diag. 8: Vergleich der Ergebnisse der Simulation mit den Messergebnissen von Riemann, n=1395 min^{-1}, V=1000 l/h, Q=30 kW [Rie 07]

Zusammenfassung

Mit dem neu entwickelten Direktwärmetauscher kann ein Brennwertnutzen auch bei Abgastemperaturen über dem Taupunkt und einer mittleren Heizwassertemperatur im Kessel unter 40°C erreicht werden. Die Höhe des Brennwertnutzens ist bei diesem System hauptsächlich von der Menge des zerstäubten Wassers abhängig, die wiederum die Tröpfchengröße und damit die Wärmeübertragungsfläche bestimmt.
Die Simulation der Wärmeübertragung im direkten Wärmetauscher gestaltet sich schwierig und führte nicht in allen Punkten zu den gewünschten Ergebnissen. Hauptursächlich dafür sind die bisher nicht untersuchten Vorgänge der Energie- und Stoffübertragung an realen Tropfen in Sprays [Gut 09]. Besonders die fehlenden

Informationen zu den Vorgängen der Zertropfung, der Verdampfung und der Kondensation in der Grenzschicht von Wassertropfen sind noch in den Grundlagen zu erforschen [War 07].
Mit den Ergebnissen der Simulation konnte jedoch erfolgreich die Höhe des Rotationskörpers um mehr als die Hälfte reduziert werden.

Ausblick

Die Entwicklung des direkten Wärmetauschers wird fortgesetzt, wobei in kommenden experimentellen Arbeiten Druckzerstäubungsdüsen untersucht werden, um die Abgastemperatur weiter absenken und die mittlere Temperatur des Heizmediums erhöhen zu können.
Mit detaillierteren Informationen zum Prozess des Energie- und Stofftransports in Sprays, insbe-sondere an Tropfen, wird die Simulation angepasst.

Literatur

[Bey 07] Beyer, T.; et al (2007): Entwicklung eines Feuerungsautomaten für Brennwertgeräte mit einem erhöhten Wasserdampfanteil im Brennraum, Forschungsbericht TFH Berlin.

[Bey 08] Beyer, T.; et al (2008): Entwicklung eines Feuerungsautomaten für Brennwertgeräte mit einem erhöhten Wasserdampfanteil im Brennraum, Forschungsassistenz IV, TFH Berlin.

[Gud 24] Gurdris, N.; et al (1924): Die Verdampfung kleiner Wassertropfen, Z. f. Physik A Hadrons an Nuclei, Springer Verlag Heidelberg; http://www.springerlink.com/content/q5712054j4602064/ [Stand: 13.10.2009].

[Her 07] Herzog, E.; et al (2007): Entwicklung eines Wasserbettbrenners mit direktem Wärmetauscher im Brennraum, Festschrift 75 Jahre Ingenieurausbildung.

[Ric 04] Richter, Th. (2004): Zerstäuben von Flüssigkeiten, Expert Verlag, Renningen.

[Rie 06] Riemann, T. (2006): Entwicklung eines Kesselwärmetauschers mit direkter Wärmeübertragung, Diplomarbeit, TFH Berlin.

[Rie 07] Rieger, M. (2007): Untersuchung eines Wärmetauschers mit zum Teil direkter Wärmeübertragung an einem zu erarbeitenden Simulationsprogramm, Diplomarbeit, TFH Berlin.

[Ruc 05] Ruch, M.; et al (2005): EuroHeat&Power, 34. Jg.

[War 07] Warnatz, J.; et al (2007): http://www.bunsen.de/bunsen_media/ Downloads/ JdCh2003/26_Woche.pdf [Stand: 13.10.2009].

[Wie 87] Weis; et al (1987): Verf. techn. Berechnungsmethoden T1, VCH Verlagsgesellschaft mbH, 1. Auflage.

Kontakt

Prof. Dr. Elfriede Herzog
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 5307
E-Mail: herzog@beuth-hochschule.de

Entwicklung und Strukturierung eines FM- Lehrpfades

Prof. Dr. Angelika Banghard Forschungsschwerpunkt: Facility Management

Kurzfassung

Insbesondere im Facility Management ist die ganzheitliche Erfassung von Prozessen, von theoretischem Wissen und die Anwendung in der Praxis immer wichtiger. Mit dem FM-Lehrpfad der TFH soll diese Verbindung von Theorie und Praxis möglich werden, die Lehre interessant und praxisnah. Frauen sollen sich durch diese praxisnahe, humane Ausrichtung angesprochen fühlen. Mit dem FM-Lehrpfad soll eine Datenbank aufgebaut werden, sowohl für den aktuellen Stand im FM als auch für die Bauberufe.

Abstract

Especially in the Facility Management the complete collection of processes, of theoretical knowledge and practical application is increasingly becoming important. With the FM trail of the TFH a combination of theory and practice should be possible, so that the lessons are more interesting and practical. Women should be attracted by this practical, humane orientation. With the FM-trail a database should be configuring, both for the current state of the FM and for the construction trades.

Einleitung

Insbesondere im Facility Management werden die vielfältigen Einflüsse auf die täglichen Prozesse bei der Produktion von Gütern und bei Dienstleistungen ganzheitlich erfasst, um sie optimieren zu können. Die dafür notwendigen Qualifikationen von Ingenieuren und Ingenieurinnen sind folglich sehr umfangreich und komplex. Zum Beispiel sind technische und wirtschaftliche Bedingungen zwar wichtig, aber in der Hauptsache geht es um die Prozesse, in denen im Mittelpunkt der Mensch steht – sowohl als Kunde/Kundin, als auch als Arbeitnehmer/Arbeitnehmerin. Dies soll in dem neuen FM-Lehrpfad der TFH vermittelt werden.
Als Anregung diente der FM-Lehrpfad der Firma „Wacker-Chemie“. Dort wurde 1999 ein Lehrpfad installiert, in dem „nur“ die Anlagen mit Schildern über die FM-relevanten Daten versehen wurden. Der FM-Lehrpfad der TFH soll darüber weit hinausgehen! Der Lehrpfad der Wacker-Chemie ist der einzige FM-Lehrpfad der Welt. Somit wäre der FM-Lehrpfad der TFH der einzige FM-Lehrpfad auf der Welt, den es an einer Hochschule gibt!

Ziele

1. Verbindung von Theorie und Praxis

Mit Hilfe des geplanten FM-Lehrpfades sollen die komplexen Prozesse im FM didaktisch reizvoll und fachtechnisch optimiert greifbar und leicht lernbar verdeutlicht werden. Einzelne Lernstationen sollen dazu zunächst nur an der TFH installiert werden. Bei diesen sollen die wesentlichen Zusammenhänge im FM „erfassbar“ dargestellt werden, theoretisch am PC erklärt, aber auch praktisch, weil die einzelnen Elemente in der TFH „vor Ort“ besichtigt werden können. Technik zum „Anfassen“ und zum „Begreifen“ ist möglich. Dabei steht der Mensch als Lernender und am jeweiligen Prozess Beteiligter im Mittelpunkt.

2. Frauen für technische Berufe begeistern

Durch diese Kombination und Fokussierung auch auf die humane Komponente von scheinbar überwiegend technischen Vorgängen sollen verstärkt junge Frauen für FM und allgemein für technische Berufe angesprochen werden.

3. Datenbank für den aktuellen Wissensstand im FM

In den Bachelor- und Masterarbeiten werden sehr gute, aktuelle Informationen zusammengetragen und neue wissenschaftliche Bereiche des FM erarbeitet. Damit dieses neu gewonnene Wissen leichter einsetzbar wird, sollen diese Informationen datentechnisch gespeichert, verwaltet und leicht abrufbar werden. Dadurch kann nicht nur die Lehre ständig auf dem aktuellsten Stand der Forschung bleiben, sondern auch neue Bachelor- und Masterarbeiten können auf dem neuesten Wissen leichter aufbauen.

4. Verknüpfung von Daten/Informationen anderer Studiengänge

In dieser Datenbank sollen nicht nur die FM-Informationen stehen, sondern auch die Informationen für und von allen Studierenden aus den Baugewerben.

Ergebnis

1. Entwicklung eines Bildschirmschoners als „Türöffner“

Ziel war es, einen Bildschirmschoner zu entwickeln, der sowohl einladend als auch informativ ist, so dass Schülerinnen/Frauen animiert werden, stehen zu bleiben, die Seiten zu betrachten, um dann selbst aktiv zu werden. Es wurden einige Entwürfe dafür erarbeitet und mit den FM-Studierenden und den DozentInnen abgestimmt. Wichtige Punkte dabei waren:

- Um eine ständige Aufmerksamkeit für vorbeigehende Besucher zu erreichen, sollte dieser Bildschirmschoner nicht statisch sein, oder schwarz, sondern es sollten ständig wechselnde Bilder aus dem Bereich des FM-Lehrpfades gezeigt werden.
- Um insbesondere Frauen anzusprechen, sollten z.B. gesundheitliche Aspekte und kaufmännische Anliegen mehr im Vordergrund stehen.
- Vom Prinzip sollte immer von dem gesamten Bauwerk auf das Detail gegangen werden und negative Beispiele – ohne die Berücksichtigung von FM – gezeigt werden (bad news are good news) mit sehr wenig Text. Die bisher eingesetzten Bilder und Texte stellen nur Platzhalter dar, bis wir sehr gute Bilder und Texte erarbeitet haben.

Abb. 1: Sequenz für den Bildschirmschoner mit FM-Themen

2. Aufbau und Struktur der Seiten des FM- Lehrpfades

Abb. 2: Beispiel: 1. Seite

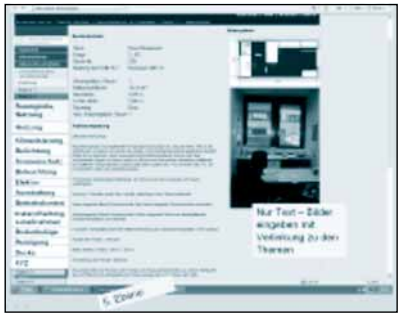


Abb. 3: Beispiel: 5. Seite

1. Seite: Übersicht
Eine Dreiteilung der Seite ermöglicht ein einfaches Navigieren, erhält die Übersichtlichkeit und soll neugierig machen, sich weiter den Lehrpfad anzusehen. Rechts: „Diashow“ mit ständig wechselnden Bildern aus dem Lehrpfad.

2. Seite: Übersicht der Lehrpfade

3. Seite: Vertiefung
Darstellung der verschiedenen Detail-Pfade zu dem ausgewählten Lehrpfad

4. Seite: Wahl der Stationen

5. Seite: Infos zu der Station
Detaillierte Informationen zu der Station. Linke Seite: Navigation: Detail- Struktur jedes Lehrpfades, jeder Station. Unter diesen Stichwörtern findet man weitere detaillierte Informationen. Bei vielen Seiten zu dieser Info öffnet sich ein Suchmenü mit Kurztext.

6. Suchfunktion „Themenübersicht“

Neu entwickelt wurde eine andere Suchfunktion, um über die „Themenübersicht“ die Detail-Themen/Station zu finden. Damit werden alle Informationen im Lehrpfad auch noch zu einem Thema angeboten.

7. Gliederung des Lehrpfades, der Lehrpfad-Themen

Die Frage tauchte auf, nach welchen Themen denn alle Lehrpfade gegliedert und verlinkt werden können. Dazu wurden viele Untersuchungen angestellt, insbesondere bei den GEFMA-Richtlinien und dem IFMA-Benchmarking-Report.
Aber: alle professionellen Werkzeuge erscheinen viel zu umfangreich, zu detailliert. Daraufhin wurden BA-Arbeiten und BA-Themen von mir untersucht, um Haupt- und Nebenstrukturen zu erarbeiten. Um die Übersichtlichkeit auf der Benutzeroberfläche zu erhalten, wurden die Lehrpfadsysteme auf max. 8 und die Themen auf max.15 begrenzt.

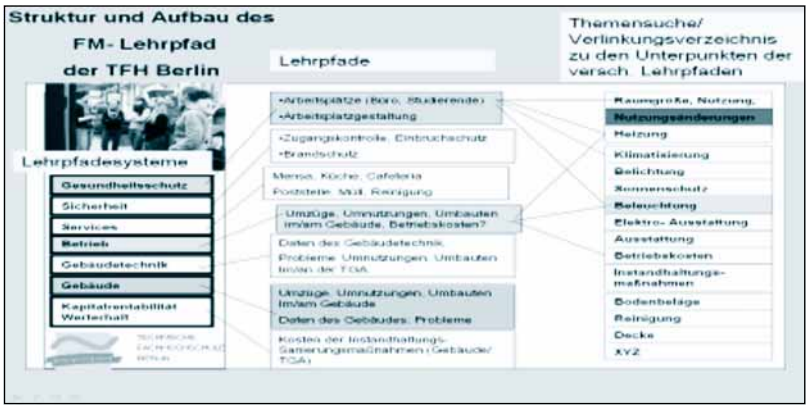


Abb. 4: Gliederung des Lehrpfades, der Lehrpfadthemen

8. Einbindung von Bachelor- und Master-Arbeiten

Um BA- und MA-Arbeiten für den Lehrpfad nutzen zu können, wurde ein Musteraufbau für BA-FM- Arbeiten erarbeitet. In der Gemeinsamen Kommission des Studienganges FM wurde das so vorgestellt, verabschiedet und in das Bachelor-Script für die Bearbeitung von BA-Arbeiten integriert.

9. Software-Entwicklung

Gemeinsam mit Herrn Neumann (Diplomarbeit im Bereich IT der FHTW) wurde sowohl die Struktur des Lehrpfades erarbeitet, als auch weitere Funktionen („Suche“, „Wicki“, „Themenübersicht“). Durch die Integration des „moodle“-Systems ist es möglich, sowohl eigene Lernumgebungen aufzubauen, als auch fertige Kurse (z.B. von Firmen) in den Lehrpfad zu integrieren. Im ständigen Austausch wurde eine Oberfläche entwickelt, die alle Anforderungen umsetzen kann und auch noch ausbaufähig ist.

10. Reduzierung des Arbeitsaufwandes für die Dateneingabe

Es wurden mehrere Varianten der Dateneingabe ausprobiert und mit den Dozenten und Dozentinnen diskutiert, um den Arbeitsaufwand dafür so gering wie möglich zu gestalten. Gewählt wurde folgende Vorgehensweise:

1. Der/die Betreuer/Betreuerin der BA-Arbeit liest den Text durch und markiert die Passagen, die in den Lehrpfad integriert werden sollen und legt die Themenbereiche/Textpassage fest.
2. Die/der Verfasser/Verfasserin der BA-Arbeit übergibt eine CD der Arbeit im word-Format
3. Eine studentische Hilfskraft oder/und der/die Dozent/Dozentin schiebt die entsprechenden word-Dateien in das System und verlinkt die Textpassagen mit den entsprechenden Themenbereichen.
4. Der/die Betreuer/Betreuerin der BA-Arbeit kontrolliert die Texteingaben der Passagen, die in den Lehrpfad integriert wurden und ist für die Richtigkeit der Daten verantwortlich.

Mit der Einarbeitung der Daten wurde im WiSe 07/08 begonnen, auf der Grundlage von BA-Arbeiten.

Ausblick

1. Die Struktur des Lehrpfades, der Aufbau, die Gestaltung der Oberfläche und die entsprechende Software wurde entwickelt und an dem Prototyp, einer Lehrstation, auf die Praxistauglichkeit hin überprüft.
2. Die ersten Daten wurden eingegeben, Optimierungsmöglichkeiten sind erkennbar und z.T. auch schon dafür erarbeitet.
3. Bisher ist erstmal der gewaltige Arbeitsumfang erkennbar geworden. Insbesondere die exakte rechtliche Klärung der Handhabung der Daten und Fotos hat sich als schwieriger herausgestellt, als am Anfang überhaupt erkennbar gewesen wäre.
4. Die Einarbeitung der Daten in den Lehrpfad erfordert doch noch sehr viel Aufwand.
5. Die Struktur des Lehrpfades ist sehr offen gefasst und muss jetzt mit Daten gefüllt werden, um zu einem echten Arbeitsmittel, zu einer Säule in der Lehre zu werden.
6. Weitere Software-Entwicklungen müssen noch erfolgen.

Literatur

- Mit dem ersten FM-Lehrpfad auf CD-ROM möchte Wilhelm Wolferstetter, CFM* mit Unterstützung seines FM-Teams „FM für die tägliche Praxis“ näher bringen. http://www.ifma-deutschland.de/lehrpfad.htm [Stand: 29.09.2009].
- Erster weltweiter praxisorientierte FM-Lehrpfad der Wacker-Chemie, http://www.aecweb.de/1frame.htm?http%3A//www.aecweb.de/news/fm-2001-08.htm [Stand: 29.09.2009].
- Züricher Hochschule für Angewandte Wissenschaften, FB Facility Management, Startseite, http://www.ifm.zhaw.ch/nc/de/science/ifm.html [Stand 29.09.2009].
- De Marco, Tom; Lister, Timothy (1991): „Wien wartet auf Dich“, (insbes.: Der Mensch im Projekt – Kapazitätsplanung), Carl Hanser Verlag, München/Wien.
- Ministerium für Frauen, Jugend, Wohnungs- und Städtebau des Landes Schleswig-Holstein (1997): Mehr Frauen in die Sprache, Kiel.

Kontakt

Prof. Dr.- Ing. Angelika Banghard
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 2544
E-mail: banghard@beuth-hochschule.de

Thermografie zur Beurteilung von Wärmebrücken

Prof. Dr.-Ing. Detlef Liesegang
Forschungsschwerpunkt: Feuchtediagnostik in der Denkmalpflege, Schimmelpilzbefall, Wärmebrücken

Kurzfassung
Mit der Thermografie lassen sich Wärmebrücken aufgrund deutlich abweichender Oberflächentemperaturen leicht sichtbar machen. Diese Möglichkeit wird bei der Begutachtung zunehmend gerne genutzt. Allerdings gibt es hierzu keine genauen Richtlinien oder Empfehlungen, die das methodische Vorgehen im Rahmen einer thermografischen Bauwerksuntersuchung beschreiben würden. Die Berücksichtigung diagnostischer und normativer Regeln ist für die sorgfältige Beurteilung jedoch notwendig und sollte mit diesem Forschungsprojekt geklärt werden.

Abstract
Due to variant temperature, thermal bridges can easily be detected with thermography. This potential will be increasingly important for survey. But there are no standards or references which define the procedure in the course of thermographic investigations. Strict observance of diagnostic and normative rules is, however, necessary for accurate assessment. This shall be developed in this project.

Was sind Wärmebrücken?

Wärmebrücken sind gemäß DIN EN ISO 10211-1 Teile einer Gebäudehülle, wo der ansonsten normal zum Bauteil auftretende Wärmestrom deutlich durch:

a) eine volle oder teilweise Durchdringung der Gebäudehülle durch Baustoffe mit unter-schiedlicher Wärmeleitfähigkeit,
b) einen Wechsel in der Dicke der Bauteile,
c) eine unterschiedlich große Innen- und Außenoberfläche,

verändert wird. Dadurch liegen im Bereich von Wärmebrücken im Vergleich zu den ungestörten Bauteiloberflächen stets abweichende Oberflächentemperaturen vor.

Welche baupraktische Bedeutung haben Wärmebrücken?

Auswirkungen von Wärmebrücken können sein:

a) höhere Wärmeverluste aufgrund eines erhöhten Wärmestroms,
b) Verlust an Behaglichkeit,
c) Tauwassergefahr bei Unterschreitung der Taupunkttemperatur θ_s,
d) Schimmelpilzgefahr bei Unterschreitung der Grenztemperatur $\theta_{si,min}$ für Schimmelpilzbildung.

Häufiger Anlass für thermografische Untersuchungen an Wärmebrücken sind strittige Mietrechtsangelegenheiten wegen Feuchteschäden infolge Tauwasserbildung oder Schimmelpilzbefall. Die bekannten pauschalen Schuldzuweisungen sind je nach Standpunkt entweder Bauwerksmängel oder nicht ausreichendes Heizen und Lüften. Die sichere rechtliche Bewertung der Verschuldensfrage muss sich auf die sorgfältige Beurteilung der technischen und bauphysikalischen Zusammenhänge verlassen können. Möglichkeiten und Grenzen der Beurteilungsverfahren müssen bekannt sein.

Wie können Wärmebrücken untersucht werden?

Wärmebrücken können sowohl rechnerisch als auch experimentell bzw. messtechnisch untersucht werden. Das Ergebnis rechnerischer, meist numerischer Untersuchungen hängt entscheidend von der Modellformulierung, den geometrischen, konstruktiven und wärmetechnischen Randbedingungen sowie den spezifischen Baustoffkennwerten ab. Bei Bestandsgebäuden sind allerdings häufig weder Randbedingungen noch Baustoffkennwerte genau genug bekannt und auch nicht leicht zu ermitteln. Entsprechend groß können mögliche

Fehler ausfallen. Die Auswirkungen von Wärmebrücken lassen sich jedoch problemlos durch zerstörungsfreie Temperaturmessungen erfassen und nachweisen. Hierzu können Oberflächenthermometer für punktuelle Messungen an kritischen Stellen oder eine bildgebende Kamera mit Infrarotdetektoren zur messtechnischen Erfassung größerer Flächen verwendet werden.
Thermografiesysteme messen die Intensität der abgestrahlten Eigenstrahlung eines Bauteils und ermitteln daraus die Oberflächentemperaturen. Die bildlich dargestellte Temperaturverteilung liefert erste Hinweise auf wärmetechnische oder baukonstruktive Unregelmäßigkeiten, wie z.B. Wärmebrücken, unterschiedliche Feuchtigkeitsgehalte oder Luftströmungen infolge Undichtigkeiten der Gebäudehülle.
Zur Lokalisierung von Wärmebrücken können Infrarotbilder grundsätzlich von der Außen- oder Innenseite der Gebäudehülle aufgenommen werden. Für die differenzierte Beurteilung einer Wärmebrücke eignen sich jedoch, wegen der besseren Temperaturauflösung und vor allem der anzuwendenden Beurteilungskriterien, nur Innenaufnahmen. Zwischen der Innen- und Außenseite sollte eine möglichst große Temperaturdifferenz (Orientierungswert etwa 15 Kelvin) vorhanden sein. Zwar sind auch Aufnahmen bei geringen Temperaturunterschieden möglich, aber nicht mehr so kontrastreich. Wesentliche Voraussetzung für die Temperaturmessung ist ein annähernd stationärer Wärmestrom. Dazu sollte die Temperaturdifferenz möglichst gleichmäßig und lang anhaltend über einen Zeitraum von etwa 12 Stunden vorhanden sein, orientiert an der Phasenverschiebung beim Wärmedurchgang durch das Bauteil. Darüber hinaus ist stets der Einfluss wärmeabstrahlender Ge¬genstände vor dem Untersuchungsobjekt zu beachten, die vom Bauteil quasi gespiegelt werden und zu Fehlinterpretationen führen können. Bei Innenaufnahmen kann die Ansicht aber auch der Wärmeaustausch durch Möbel oder sonstige Einrichtungsgegenstände eingeschränkt sein. Nicht nur bei Außenaufnahmen ist der Einfluss der direkten Sonneneinstrahlung sowie der Strahlungsaustausch mit der Umgebung, z.B. bei einem wolkenlosen, klaren Nachthimmel (Himmelstemperatur ca. -80 °C bis -90 °C), zu berüksichtigen.
Die Infrarotaufnahmen werden radiometrisch aufgezeichnet und können mit entsprechender Software ausgewertet werden. Zur übersichtlichen Darstellung und Auswertung der Aufnahmen werden den berechneten Temperaturen Farbtöne zugewiesen, sodass eine so genannte Fehlfarbendarstellung entsteht.

Wie sind Wärmebrücken zu bewerten?

Bei der Bewertung von Wärmebrücken ist zu bedenken, dass Wärmebrücken zunächst lediglich höhere Wärmeverluste aufgrund eines erhöhten Wärmestroms bedeuten, der sich zwar einerseits auf die Behaglichkeit, die Tauwasser- und Schimmelpilzgefahr negativ auswirken kann, andererseits aber in der Baupraxis nicht zu vermeiden ist. Demzufolge ist für eine Beurteilung eindeutig zu definieren, wann eine Wärmebrücke als Mangel bzw. potentiell schadensverursachend oder unvermeidbar anzusehen ist.
Während höhere Wärmeverluste nur relativ, z.B. in Abhängigkeit vom Energiepreis, zu quantifizieren sind und der Verlust an Behaglichkeit nur subjektiv zu beurteilen ist, stellen Tauwasser- und Schimmelpilzgefahr objektiv zu beurteilende Auswirkungen von Wärmebrücken dar. Das Beurteilungskriterium ist jeweils eine Grenztempe¬ratur, die nicht unterschritten werden darf. Hierzu werden in DIN 4108-2 und DIN EN ISO 13788 entsprechende Angaben gemacht. Zur Bestimmung der Taupunkttemperatur θ_s kann folgende Näherungsgleichung verwendet werden:

$$\theta_s = \left(\frac{\phi_i}{100}\right)^{0,1247} \cdot (109,8 + \theta_i) - 109,8 \qquad \text{Gl. 1}$$

gilt für θ_i und $\theta_s \geq 0$
ϕ_i = relative Luftfeuchtigkeit innen
θ_i = Lufttemperatur innen

Unter der Annahme, dass Schimmelpilzwachstum bereits möglich ist, wenn die relative Luftfeuchtigkeit an der Bauteiloberfläche etwa 80 % beträgt, berechnet sich die Grenztemperatur $\theta_{si,min}$ nach folgender Näherungsgleichung:

$$\theta_{si,min} = \left(\frac{1,25 \cdot \phi_i}{100}\right)^{0,1247} \cdot (109,8 + \theta_i) - 109,8 \qquad \text{Gl. 2}$$

gilt für θ_i und $\theta_s \geq 0$
ϕ_i = relative Luftfeuchtigkeit innen

θ_i = Lufttemperatur innen

Davon ausgehend wird in DIN 4108-2 und DIN EN ISO 13788 zur Beurteilung der wärmedämmtechnischen Qualität von Außenbauteilen und zur Abschätzung einer möglichen Schimmelpilzbildung der Temperaturfaktor f_{Rsi} herangezogen:

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \qquad \text{Gl. 3}$$

θ_i = Lufttemperatur innen
θ_e = Lufttemperatur außen
θ_{si} = Oberflächentemperatur innen

Zur „Vermeidung von Schimmelpilzbildung“ ist gemäß DIN 4108-2 die Bedingung $f_{Rsi} \geq 0{,}7$ an jeder Stelle auf der Innenoberfläche der Außenbauteile einzuhalten.
Damit ergibt sich eine weitere Bestimmungsgleichung für eine kritische innenseitige Oberflächentemperatur:

$$\theta_{si,cr} = f_{Rsi} \cdot (\theta_i - \theta_e) + \theta_e \qquad \text{Gl. 4}$$

Die Auswertung von Gl. 2 und Gl. 4 für verschiedene Parameterkombinationen ergibt jedoch zwei unterschiedliche Kurven, die nur einen Schnittpunkt bei den Norm-Klimabedingungen $\theta_i = 20$ °C; $\theta e = -5$ °C und $\phi_i = 50$ % haben.
Eine allgemeinere Berechnungsformel für f_{Rsi} zur Beurteilung der Schimmelpilzgefahr ergibt sich durch Einsetzen von Gl. 2 in Gl. 3.:

$$f_{Rsi} \geq \frac{\left(\frac{1{,}25 \cdot \phi_i}{100}\right)^{0{,}1247} \cdot (109{,}8 + \theta_i) - 109{,}8 - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \qquad \text{Gl. 5}$$

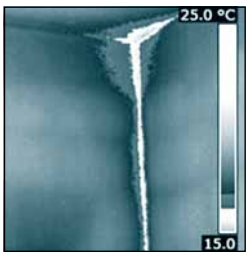
gilt für $f_{Rsi} > 0$

Hinsichtlich der thermografischen Praxis ergibt sich daraus die Frage: Welcher Grenzwert ist maßgebend und soll mit den Messwerten des Thermogramms verglichen werden?

1. Zur Beurteilung einer vorgegebenen Dämmqualität sind die Grenzwerte nach Gl. 3 bzw. Gl. 4 zu verwenden.
2. Zur Beurteilung des Raumklimas und der akuten Schimmelpilzgefahr sind die Grenzwerte nach Gl. 2 bzw. Gl. 5 zu verwenden.

Praxisbeispiel

In mehreren Räumen eines Mehrfamilienwohnhauses wurde Schimmelpilzbildung festgestellt. Im Rahmen der Ursachenermittlung wurden u.a. auch thermografische Untersuchungen durchgeführt. Zur Auswertung der radiometrisch aufgezeichneten Infrarotbilder wurden die jeweiligen Isothermen für die minimalen bzw. kritischen Oberflächentemperaturen eingezeichnet.



Messwerte:

	θ_{si}	= 14,9 °C
	θ_i	= 20,6 °C
	θ_e	= 7,7 °C
	ϕ_i	= 57 %,
Grenzwert für $\theta_{si,cr}$ nach Gl. 4:	$\theta_{si,cr}$	= 16,8 °C
Grenzwert für $\theta_{si,min}$ nach Gl. 2:	$\theta_{si,min}$	= 15,2 °C

In Teilbereichen liegen die vorhandenen Oberflächentemperaturen unterhalb der zulässigen Grenztemperaturen. Das untersuchte Außenbauteil erfüllt damit nicht den heutigen Dämmstandard und es besteht sogar ein akutes Schimmelpilzrisiko.

Zusammenfassung

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die Thermografie nicht nur zur Lokalisierung und Visualisierung von Wärmebrücken verwendet werden kann, um danach mit Hilfe numerischer Verfahren die Tauwasser- bzw. Schimmelpilzgefahr abzuschätzen, sondern unter Beachtung bauphysikalischer Randbedingungen und messtechnischer Voraussetzung durchaus ein geeignetes Hilfsmittel und Messinstrument zur quantitativen Beurteilung von Wärmebrücken ist.

Literatur

- DIN 4108-2: 2003-07 – Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Mindestanforderungen an den Wärmeschutz.
- DIN EN 13187: 1999-05 – Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden – Nachweis von Wärmebrücken in Gebäudehüllen – Infrarot-Verfahren.
- DIN EN ISO 13788: 2001-11 – Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen – Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren – Berechnungsverfahren.

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Detlef Liesegang
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 2561
E-Mail: dr.liesegang@beuth-hochschule.de

Simulation der Erdreichwärmenutzung mit einer Wärmepumpe

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Bendel, Dipl.-Ing. (FH) Sabine Krutzsch
Forschungsschwerpunkt: Energieeffizienz in der Gebäudetechnik

Kurzfassung

Durch Simulationsrechnung wurde nachgewiesen, dass die Kombination aus Erdwärmenutzung, Wärmepumpe und Bauteiltemperierung für Winter- und Sommerbetrieb vorteilhaft ist. Es wurden Jahresarbeitszahlen deutlich über 4 erreicht. Der zusätzliche Wärmeeintrag in das Erdreich im Sommer verbessert den Wärmeentzug im Winter insbesondere bei hoher Geschossflächenzahl.

Abstract

With help of a simulation program it was researched that by combining the use of geothermal energy, heatpump and an embedded water system, advantages in winter and summer can be achieved. The seasonal performance factor was clear above 4. The heat supply to the ground in summer improves the heat gain in winter, especially for tall buildings with small premises.

Übersicht

Eine Möglichkeit erneuerbare Energien für das Heizen und Kühlen von Gebäuden zu nutzen, ist der Einsatz einer Erdreichwärmepumpe. Mit ihr wird im Winter dem Erdreich Wärme entnommen und bei höherer Temperatur dem Gebäude zugeführt. Die entnommene Wärme darf bei reinem Heizbetrieb nur so groß sein, wie über den Jahresverlauf im Erdreich ausgeglichen wird. Hierbei ist die relativ schlechte Wärmeleitfähigkeit des Erdreiches zu beachten. Leider wird diese Bedingung in ausgeführten Anlagen nicht immer eingehalten. Dies führt entgegen der Absicht eine energetische Optimierung zu erzielen, oft und vielfach unbemerkt zu dauerhaften Mehrverbräuchen.
Kombiniert man den Wärmeentzug im Winter (Gebäudeheizung) mit der Wärmezufuhr an das Erdreich im Sommer (Gebäudekühlung), so ergeben sich zwei positive Effekte. Zum Einen ist der Erdspeicher für den Winter ausreichend gefüllt und zum Anderen steht im Sommer das gegenüber der Außenluft deutlich kühlere Erdreich zur Wärmeabfuhr zur Verfügung.
Voraussetzung für die energetisch beste Nutzung, und damit der Minderung von CO_2 Emissionen, ist im Gebäude ein „Heiz-“ bzw. „Kühlelement“, welches mit Temperaturen nahe der Raumtemperatur arbeitet (d.h. im Winter mit Heizmitteltemperaturen von ca. $30°C$ und im Sommer mit Kühlmitteltemperaturen nahe $20°C$). Ein ideales System, welches zusätzlich eine hohe Wärmespeicherfähigkeit bietet, ist die Bauteiltemperierung. Bei der Bauteiltemperierung werden wasserdurchflossene Rohre in die tragende Deckenkonstruktion integriert. Die Funktion wurde bereits im Zusammenhang mit dem Bericht [Ben 07] erläutert.
Somit stehen zwei große Wärmespeicher (Erdreich und Betondecken) über die Wärmepumpe in Verbindung.

Das System hat folgende Vorteile:

a) Die Wärmepumpe hat im Vergleich zu konventionellen Heiz- und Kühlanlagen eine deutlich geringere Leistung. Konventionelle Anlagen müssen der sich ändernden Belastung folgen. Die Wärmepumpe kann praktisch mit kontinuierlich niedriger Leistung arbeiten, da diese nur an große Speicher übertragen wird.
b) Die Jahresarbeitszahlen (Verhältnis aus Nutzenergie zu elektrischem Aufwand) sind durch die „nahe“ beieinanderliegenden Speichertemperaturen relativ hoch.

Untersuchungsmethodik

Mit dem Simulationsprogramm TRNSYS 16 [TRN 04] können für jede Stunde eines Jahres sowohl die Wärmeströme als auch die Temperaturen einer Raum- und Anlagenkonstellation, unter Berücksichtigung des Wettergeschehens, berechnet werden.
Man definiert typische Räume, bei denen einzelne Parameter variiert werden. Um einzelne Einflüsse beurteilen zu können und wegen des hohen Rechenaufwandes wird nur ein Raum berechnet. Auf das Gesamtgebäude kann dann durch Superposition geschlossen werden.

Der Basisbüroraum befindet sich in Berlin, hat eine Breite (Fassadenseite) von 4 m eine Raumtiefe von 5 m und ist 2,8 m hoch. Alle Raumumschließungsflächen, außer der Außenwand, grenzen an gleichartige Büroräume. Die Wärmedurchgangszahl der Außenwand ist 0,32 W/m²K, die des Fensters 0,86 W/m²K. Gute Dämmwerte sind Voraussetzung für die Funktion der Bauteiltemperierung. Details zu weiteren Stoffdaten des Raumes sowie Sonnenschutz, Betriebszeiten usw. sind in [Kru 08] niedergelegt.

Erdwärmesonden

Erdwärme kann für größere Gebäude über Sonden in bis zu 100 m tiefen Bohrungen entnommen werden. Das Prinzip solcher Erdsonden zeigt Abb. 1.

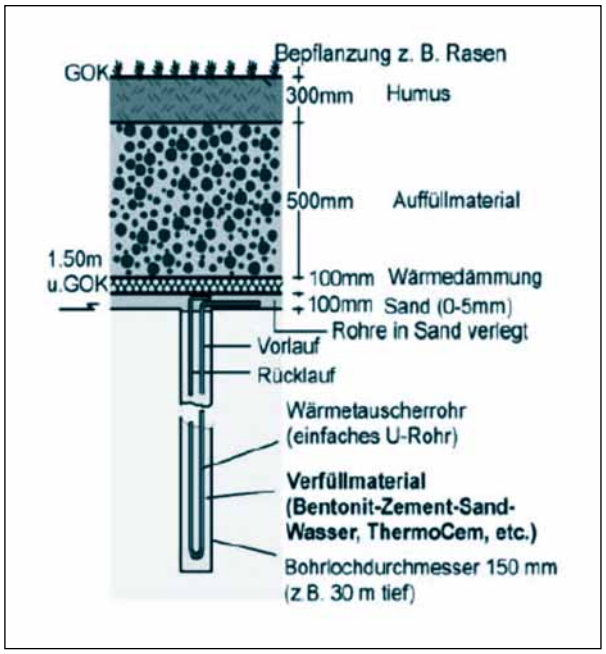


Abb. 1: Prinzip Erdwärmesonde [Reu 01]

Ergebnisse

Es wird beispielhaft das Ergebnis der Simulation eines Büroraumes mit einer Ostfassade und 40 % Fensterflächenanteil dargestellt.
Generell ist es bei der Bauteiltemperierung nicht möglich, aber auch nicht erforderlich, konstante Raumtemperaturen zu garantieren. Die Wärmeaustauschvorgänge an der Speichermasse sind immer stark gedämpft und zeitverzögert. Praktische Erfahrungen zeigen ebenso wie die Vorausberechnung eine hohe Behaglichkeit und sehr gute Akzeptanz.
Wegen der starken Zeitverschiebung durch die Speichermassen muss eine „Wetterprognose“ erstellt werden. Damit wird festgelegt, ob Heiz- oder Kühlbereitschaft bestehen soll, oder ob kein Bedarf für die Wärmepumpe besteht. Für die Prognose wird der Außentemperaturmittelwert der jeweils letzten 24 Stunden verwendet. Vorabsimulationen ergaben, dass für einen gut gedämmten Büroraum mit üblichen Fremdwärmegewinnen (Personen, Beleuchtung, Sonne) nur bei mittleren Außentemperaturen unter 3°C der Winterbetrieb und über 8°C der Sommerbetrieb freigeschaltet wird. Die tatsächliche Ein-/Ausschaltung der Wärmepumpe wird von der aktuellen operativen Raumtemperatur gesteuert. Unter 22°C ist die Wärmepumpe (Heizung) eingeschaltet. Steigt sie im Winterbetrieb über 22°C wird sie abgeschaltet (Abb. 2, 9 Uhr). Analog erfolgt die Regelung im Sommerbetrieb. Steigt die Raumtemperatur über 22°C wird zunächst die freie Kühlung (Wärmeaustausch zwischen Betondecke und Erdreich durch einfaches Umwälzen des Wassers bzw. Glykol/Wassergemisches) eingeschaltet (Abb. 3, 6-13 Uhr). Steigt die Soleaustrittstemperatur aus dem Erdreich über 16°C, so wird zusätzlich die Wärmepumpe zur Kühlung herangezogen (Abb. 3, 14-24 Uhr). Rechentechnisch wäre eine weiter optimierte Regelstrategie, z.B. früheres Abschalten der Heizung in Erwartung höherer Raumtemperaturen, problemlos möglich. Für die Praxis sind jedoch einfachere Regelstrategien oft die bessere Wahl, da die Raumreaktionen ohne teure Simulationen nur schwierig einzuschätzen sind.

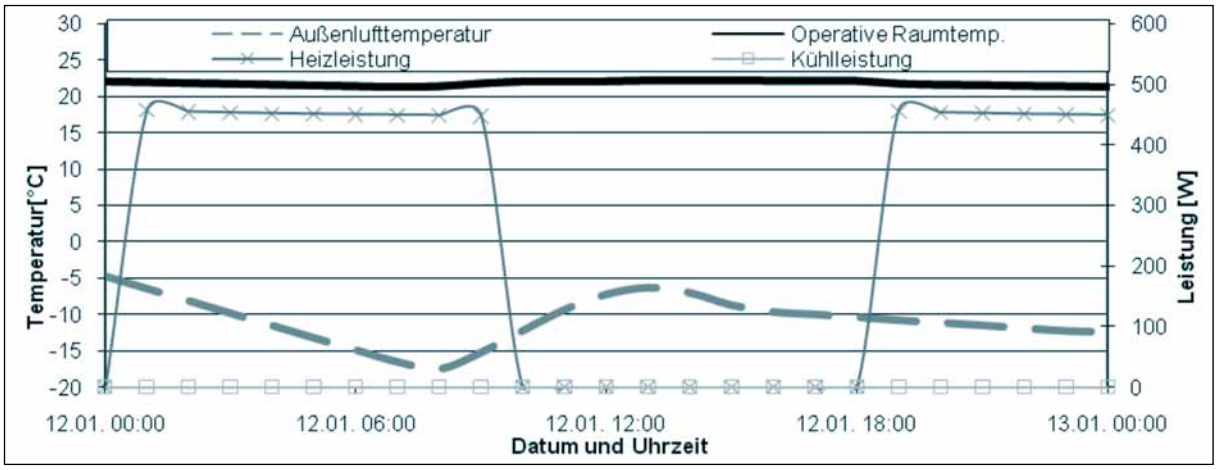


Abb. 2: Temperatur- und Kühlleistungsverlauf an einem Wintertag

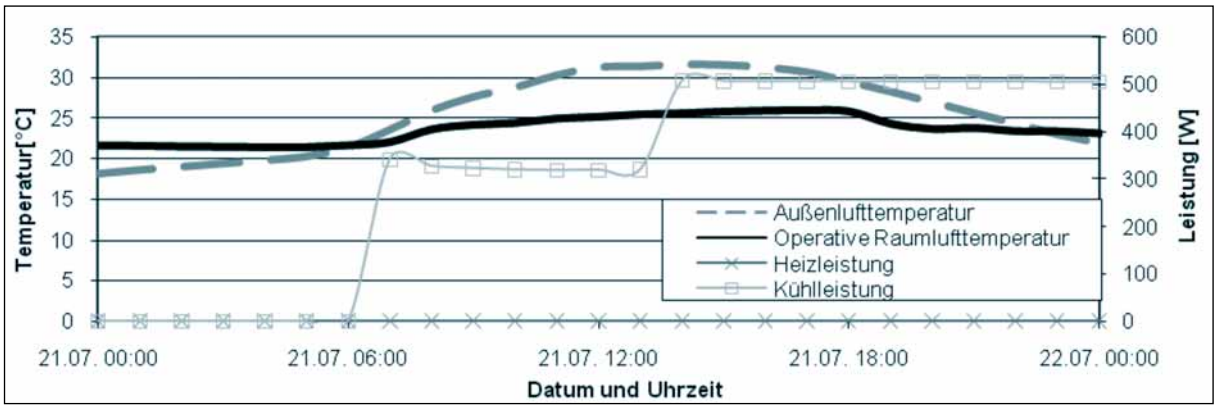


Abb. 3: Temperatur- und Kühlleistungsverlauf an einem Sommertag

In Abb. 4 ist zu erkennen, dass die operative Raumtemperatur mit 20-25°C praktisch immer im Behaglichkeitsbereich liegt. Heiz- und Kühlbetrieb richten sich nach der Wetterlage, aber immer mit gleicher Leistung. Der wesentliche Aspekt der Untersuchung zeigt, dass die Erdreichtemperatur über den Jahresverlauf regeneriert wird (Abb. 5). Die Erdreichtemperatur am Jahresende liegt etwas höher als die Temperatur des ungestörten Erdreiches. Die Jahresarbeitszahlen liegen mit 4,6 für Bürogebäude mit Kühlung und ca. 4,4 für die ebenfalls untersuchten Wohngebäude ohne Kühlung über dem im Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz [ERN 08] geforderten Wert von 4,0.

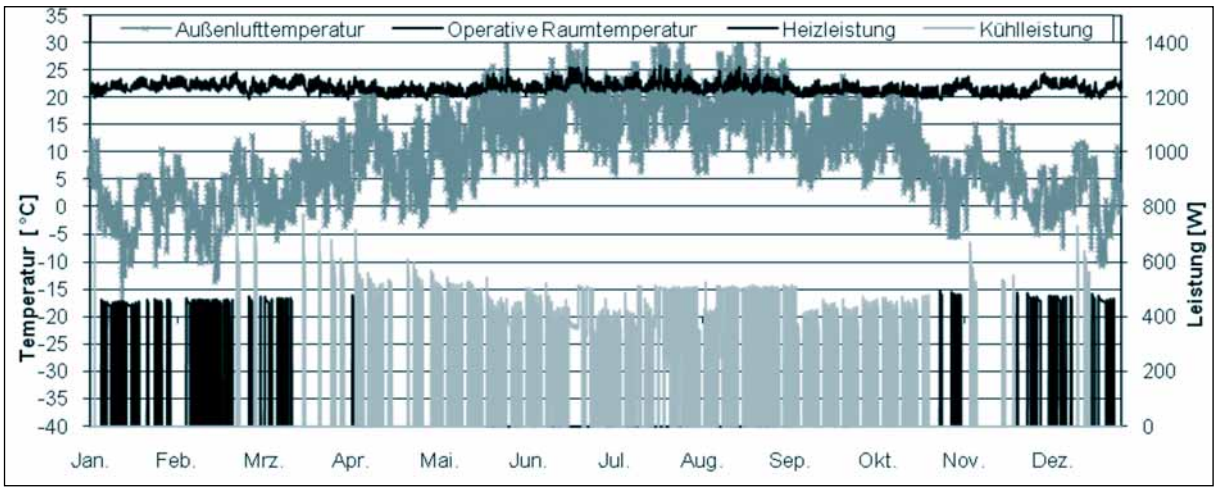


Abb. 4: Temperatur- sowie Heiz- und Kühlleistungsverlauf für ein Jahr

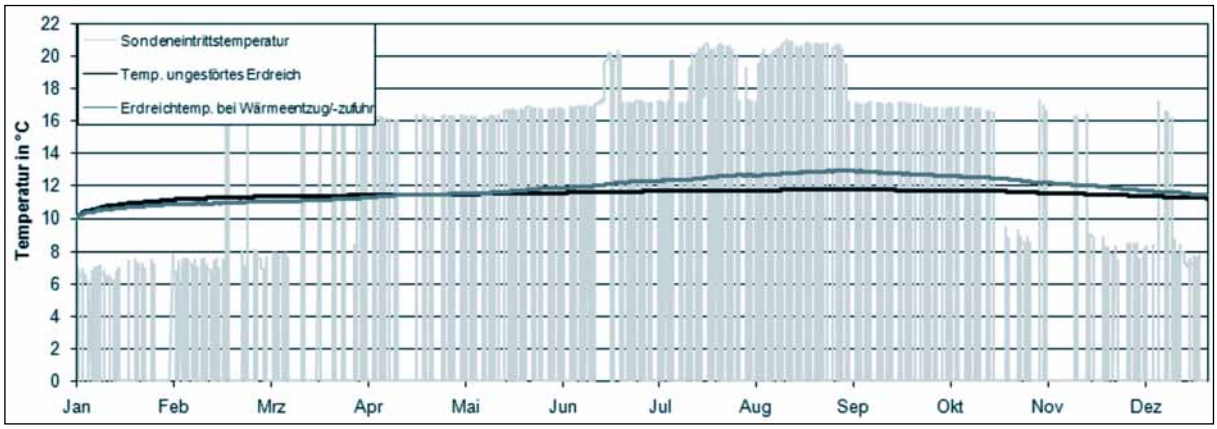


Abb. 5: Erdreich- und Sondeneintrittstemperaturen (Sondentiefe 40 m)

Zusammenfassung

Es konnte gezeigt werden, dass die Kombination aus Wärmeentnahme und -eintrag in das Erdreich – in Verbindung mit Systemen die mit Wassertemperaturen nahe der gewünschten Raumtemperatur arbeiten (Bauteiltemperierung) – hohe Jahresarbeitszahlen und damit geringe Primärenergieverbräuche aufweisen. Die Erdreichtemperatur kann im Gegensatz zu zahlreichen ausgeführten Anlagen über das Jahr wieder regeneriert werden.

Literatur

[Ben 07] Bendel, H.-P. (2007): Untersuchung der Bauteilkühlung am Beispiel von Gebäuden in Kolumbien, Forschungsbericht Technische Fachhochschule Berlin 2007.

[Trn 04] TRNSYS 16, (2004): Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison USA.

[Kru 08] Krutzsch, S. (2008): Energetische Untersuchung der Bauteiltemperierung und einer Erdreichwärmepumpe mit einem Simulationsprogramm, Diplomarbeit TFH-Berlin 2008.

[Reu 01] Reuß, M., Müller, J.P. (2001): Erdwärmesonden zur thermischen Energiespeicherung im Untergrund, Tiefbau, Berlin 2001, Nr.8 .

[Eew 08] Erneuerbare-Energien-Wärmegesetz – EEWärmeG, Gesetz zur Förderung Erneuerbarer Energien im Wärmebereich (2008): Bundesgesetzblatt Jahrgang 2008, Teil I Nr. 36 vom 18. August 2008, S.1658.

Kontakt

Prof. Dr. Hans-Peter Bendel
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 2600
E-Mail: bendel@beuth-hochschule.de

Dipl.-Ing. (FH) Sabine Krutzsch
E-Mail: s.krutzsch@gmx.de

Klimagerechte Qualitätsoffensive im kommunalen Immobilienmanagement

Prof. Dipl.-Kfm. Kai Kummert Forschungsschwerpunkte: Öffentliches Immobilienmanagement

Kurzfassung

Das kommunale Immobilienmanagement muss sich in seiner Rolle als Bauherr und Betreiber von Immobilien engagieren, auch wenn schon zahlreiche erfolgreiche Projekte umgesetzt worden sind. Die EU-Richtlinie über „Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen“ (2006/32/EG) fordert von den Mitgliedsstaaten und seinen öffentlichen Gebietskörperschaften die Wahrnehmung einer Vorbildfunktion für Energieeinsparungen. Die über 12.000 Kommunen in Deutschland werden dabei an ihrem jeweiligen Gesamtimmobilienportfolio gemessen, nicht nur an erfolgreichen Modellprojekten. Im Rahmen einer Forschung an der Beuth Hochschule für Technik Berlin wurden strategische Werkzeuge entwickelt, mit denen die Bauämter und immobilienverwaltenden Stellen der Kommunen in die Lage versetzt werden, öffentliche Gebäude nachhaltig zu betreiben.

Abstract

Public real estate management still has to cope with the responsibility of being constructor and user to the same time – even though numerous successful projects have been realized already. It is part of the EU Directive 2006/32/EG referring to energy efficiency and energy services that the member states and their local governments have to be pioneers when it comes to saving energy. In this respect the more than 12,000 local governments in Germany are judged by what they have accomplished throughout their complete real estate portfolio – not only by successful single pilot projects. As a part of scientific research the University of Applied Science (BHT) in Berlin designed various strategic tools which enable the public construction authorities and the public real estate management sector to achieve sustained operation of public buildings.

Ausgangssituation im kommunalen Immobilienmanagement

Das Management von Immobilien gehört in Kommunen wie auch bei Bund und Ländern nicht zum Kerngeschäft. Trotzdem ist das öffentliche Immobilien- und Facility Management in den letzten Jahren weitgehend professionalisiert worden. Viele Organisationen sind bereits für größere Immobilienportfolios zuständig und haben sich zu markt- und kundenorientierten Serviceeinheiten entwickelt. Verwaltungseinheiten für Bauangelegenheiten, Grundstücks- und Unterkunftsangelegenheiten klassischer Prägung, die reine Verwaltungstätigkeiten durchführen, sind entsprechend der von der Beuth Hochschule für Technik Berlin aktuell durchgeführten empirischen Untersuchung in deutschen öffentlichen Gebietskörperschaften nicht mehr anzutreffen. Neben einer Ausrichtung an Nutzern und Kunden, also dem Markt, richten sich die modern organisierten, öffentlichen Immobilien- und Facility Managementorganisationen an den Zielen „wirtschaftliche Leistungserfüllung“, „Erhalten und Entwicklung der Vermögenswerte“ sowie „Wettbewerbsfähigkeit“ aus.
Es bedarf jedoch einer weiteren Professionalisierung der kommunalen Institutionen in Sachen Nachhaltigkeit, Klimaschutz, Einsatz innovativer Baustoffe und Systemkomponenten sowie effektiver und zielführender Umsetzung von Fördermitteln.

Klimagerechte Qualitätsoffensive im kommunalen Immobilienmanagement – Voraussetzungen und Erfolgsfaktoren

Allein durch das Zweite Konjunkturprogramm der Bundesregierung stellt der Bund den Kommunen und Ländern insgesamt 13,3 Mrd. € insbesondere für Maßnahmen zur Verringerung des CO_2-Ausstosses bereit. Zu den Investitionsschwerpunkten sollen Bildungseinrichtungen zählen.
Die Förderprogramme sollen dabei die mit der EU-Richtlinie über „Endenergieeffizienz und Energiedienstleistungen“ [BMWi 06] von allen öffentlichen Gebietskörperschaften geforderte klimagerechte Qualitätsoffensive befördern.
Die EU-Richtlinie hat die Vorbildfunktion der EU-Staaten für Energieeinsparungen festgeschrieben. Auch für Deutschland als föderaler Staat besteht kein Ermessensspielraum. Gemäß der Richtlinie ist die Vorbildfunktion durch die Nennung konkreter Maßnahmen zu belegen. Während der Bund bereits ein umfangreiches Maßnahmenpaket vorgelegt hat, haben Länder und Kommunen teilweise noch Nachholbedarf.
Eine Vorbildfunktion wird aber nicht allein dadurch erreicht, dass Kommunen ausgewählte Einzelprojekte und Einzelbeispiele für Umwelt- und Klimaschutz darstellen. Eine Vorbildfunktion entsteht durch Authentizität

und das authentische Erleben der Bürgerinnen und Bürger. Dies gelingt einer öffentlichen Gebietskörperschaft wie einer Kommune nur dann, wenn sie sowohl in der Aufbaustruktur wie auch in den Arbeitsabläufen, den Prozessen und in den Facilities sowie im Umgang mit den Immobilien im Sinne des Umwelt- und Klimaschutzes handelt. Eine Vorbildfunktion kann erreicht werden, wenn die Bürgerinnen und Bürger in dem jeweiligen Organigramm der Kommune Umwelt- und Klimaschutz sowie ein Energiemanagement wieder finden, wenn gleichzeitig die Prozesse, die die Kommune betreibt, insbesondere auch die hoheitlichen Tätigkeiten, die direkten Bürger- und Unternehmenskontakt entfalten, umwelt- und klimagerecht stattfinden und die vorgehaltene Infrastruktur, die Facilities sowie die Immobilien zum Beispiel den Nachhaltigkeitskriterien gemäß der Deutschen Gesellschaft für nachhaltiges Bauen (DGNB) www.dgnb.de entsprechen. Vorbilder sind beobachtbar und erfahrbar. Eine Vorbildfunktion entsteht durch kommunales Handeln dann, wenn die jeweilig zuständige Immobilien- und Facility Managementorganisation sicherstellt, dass beherrschte, nachhaltige Facility Managementprozesse erreicht werden.
Die Systeme des Qualitätsmanagements nach DIN EN ISO 9001:2008, der Umweltmanagementsysteme gemäß DIN EN ISO 14001 und EMAS [Löb 05] sowie Arbeitssicherheitssysteme können die Basis einer umweltgerechten Qualitätsoffensive bilden. Darüber hinaus müssen auch die Facilities und Immobilien umwelt- und klimagerecht sowie nachhaltig bereitgestellt werden. Die Ausfertigung von Energieausweisen gem. ENEV genügt diesem Nachweis perspektivisch nicht. Es muss entsprechend des Systems der Zertifizierung von nachhaltigen Büro- und Gewerbeneubauten der DGNB ein Nachhaltigkeitszertifizierungssystem für öffentliche Immobilien entwickelt und auch angewendet werden.

Facility Management Prozesse GEFMA 100-1:
- Bauprojekte managen
- Objektbetrieb managen
- Arbeitsstätten bereitstellen
- Objekt ver- und entsorgen
- Objekt schützen und sichern
- ...
- ...
Erreichung von beherrschten, nachhaltigen FM-Prozessen durch Aufrechterhaltung eines integrativen Managementsystems, inkl.:
• Qualitätsmanagementsystem nach DIN EN ISO 9001:2000
• Umweltmanagementsystem gem. DIN EN ISO 14001, EMAS
• Arbeitssicherheitssysteme
Freiwilliges Gütesiegel für nachhaltige Immobilien

Abb. 1: Voraussetzungen für umweltgerechte Qualitätsoffensiven sind Authentizität in den Bereichen Aufbauorganisation, Abläufe und Prozesse sowie Facilities und Immobilien

Entwicklung von Management-Werkzeugen zur Unterstützung der klimagerechten Qualitätsoffensive

In den meisten Kommunen wird eine jährlich rollierende Priorisierung des baulichen Unterhalts durchgeführt, die zunächst eine Umsetzung der politisch legitimierten Ziele vorsieht. Darüber hinaus gelten die Zielsetzungen des Leistungsauftrags, zu deren Sicherstellung Maßnahmen in der Regel nach Dringlichkeit, Wichtigkeit und Kosten-/Nutzen-Verhältnis priorisiert werden.
Dem Großteil der Kommunen stehen, gemessen an den Zielen der Unterhaltsstrategie, nur knappe Mittel für den Substanzerhalt der öffentlichen Bauten zur Verfügung. Dementsprechend bestehen hohe Instandsetzungsstaus im Bereich der baulichen Unterhaltung, was längerfristig zu bedeutenden Mehrkosten führt.
Sowohl bei der Priorisierung von Maßnahmen der baulichen Unterhaltung wie auch der Priorisierung der Verwendung von Fördermitteln und Mitteln des Konjunkturpaketes gilt es vorab zu entscheiden, welche Facilities und Immobilien strategische Bedeutung für die Kommune haben und nachhaltig genutzt werden können. An dieser Stelle bedarf es des Einsatzes geeigneter Managementsysteme, die alle Immobilien einer Kommune analysieren und hinsichtlich der strategischen Bedeutung und Nachhaltigkeit bewerten.
Im Rahmen eines vom Autor aufgesetzten Forschungsprojektes an der BHT wurde ein schulspezifischer Kriterienkatalog entwickelt, der Empfehlungen für eine nachhaltige Instandsetzungsstrategie für die jeweiligen Immobilien herleitet.

Dabei wurden die 63 Steckbriefe des DGNB-Kriterienkatalogs für die Nachhaltigkeitszertifizierung von Neubauten im Segment der Büro- und Gewerbebauten auf die Anwendbarkeit für öffentliche Schulgebäude im Bestand analysiert. Weil das aktuelle Verfahren der Nachhaltigkeitszertifizierung – bestätigt durch den DGNB – davon ausgeht, dass nur zusätzlich ausgebildete Auditoren die Nachhaltigkeitszertifizierung durchführen und auch die an den Maßnahmen beteiligten Architekten und Ingenieure „zertifiziert“ sein müssen, war der Kriterienkatalog sowohl hinsichtlich der Kriterien als auch hinsichtlich der Verfahren weiterzuent-wickeln.
Die nachfolgende Abb. 2 zeigt den Ablauf des Forschungsvorhabens auf: Zunächst wurde ein Musterportfolio von Schulen ausgewählt. Es handelt sich dabei um neun Schulen im Märkischen Viertel Berlin, die von der Serviceeinheit Facility Management des Bezirksamts Reinickendorf von Berlin bewirtschaftet werden. In den Schulen fand eine qualitative und quantitative Aufnahme der Gebäude inkl. Außenanlagen und Technik statt. Hier wurden gängige Gebäudechecklisten verwendet, die auch im Rahmen der Aufnahme von Gebäuden im Rahmen einer Due Diligence Anwendung finden. Gleichzeitig wurden die 63 Kriteriensteckbriefe der DGNB vor dem Hintergrund der Zielsetzungen analysiert, dass die Nachhaltigkeitsüberprüfung überwiegend durch kommunales Ingenieurpersonal ermöglicht wird.

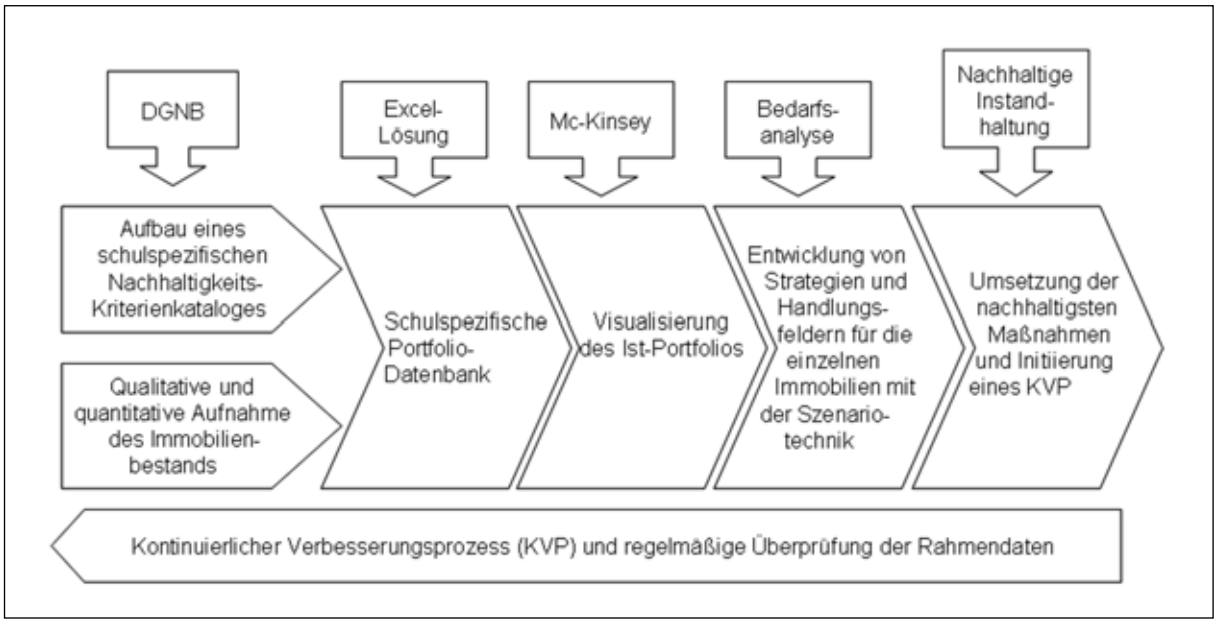

DGNB
Excel-Lösung
Mc-Kinsey
Bedarfs-analyse
Nachhaltige Instand-haltung
Aufbau eines schulspezifischen Nachhaltigkeits-Kriterienkataloges
Qualitative und quantitative Aufnahme des Immobilien-bestands
Schulspezifische Portfolio-Datenbank
Visualisierung des Ist-Portfolios
Entwicklung von Strategien und Handlungs-feldern für die einzelnen Immobilien mit der Szenario-technik
Umsetzung der nachhaltigsten Maßnahmen und Initiierung eines KVP
Kontinuierlicher Verbesserungsprozess (KVP) und regelmäßige Überprüfung der Rahmendaten

Abb. 2: Entwicklung eines schulspezifischen Nachhaltigkeitssystems

Die 37 schulspezifischen Nachhaltigkeitskriterien wurden daraufhin den Dimensionen „Wirtschaftlichkeit“ und „Nutzwert“ zugeordnet und in die Portfolio-Systematik nach McKinsey überführt.
Im Ergebnis wurde ein Excel-basiertes Tool entwickelt, das im Sinne eines Management-Informations-Systems ein schulspezifisches Nachhaltigkeitsportfolio abbildet.

Literatur

[BMWi 07] Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) (2007): Nationaler Energieeffizienz-Aktionsplan (EEAP) der Bundesrepublik Deutschland.

[Löb 05] Löbel, J.; Schröger, H.-A.; Closhen, H. (Hrsg.) (2005): Nachhaltige Managementsysteme, 2. Auflage.

Kontakt

Prof. Dipl.-Kfm. Kai Kummert
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 5208
E-Mail: kummert@beuth-hochschule.de

Die Haftung des Architekten bei arglistig verschwiegenen Mängeln

Prof. Dr.-Ing. Sven Gärtner Forschungsschwerpunkt: Bauschäden und Architektenhaftung

Kurzfassung

Die Aufgaben des Architekten sind im Laufe der Zeit immer umfangreicher und vielfältiger geworden. Waren die Tätigkeiten ursprünglich auf Planung und Bauüberwachung begrenzt, ist heute eine Vielzahl von Leistungen hinzugekommen, die den Architekten zu einer zentralen Figur im komplexen Baugeschehen macht. Damit wird er oftmals zum alleinigen Ansprechpartner des Bauherrn in allen Fragen, die das Bauvorhaben betreffen. Hieraus resultiert eine Verantwortlichkeit mit weitgehenden Haftungsrisiken, die von der Rechtsprechung ständig ausgeweitet wird.

Ein Beispiel für die Ausdehnung dieses beruflichen Haftungsrisikos ist die sogenannte Arglisthaftung. Sich arglistig zu verhalten, ist für den Architekten äußerst problematisch, weil sich dadurch die Verjährungsfristen für Mängelansprüche von fünf auf bis zu 30 Jahre verlängern. Dabei reicht den Gerichten im Einzelfall der Beweis des ersten Anscheins, um dem bauüberwachenden Architekten eine Pflichtverletzung nachzuweisen. Der folgende Beitrag erklärt die Zusammenhänge anhand eines interdisziplinarischen Ansatzes, in dem sowohl bautechnische wie auch juristische Aspekte beleuchtet werden.

Abstract

The requirements architects have to meet have become more extensive and varied in the course of time. Were the tasks originally limited to planning and construction supervision, today a variety of tasks have been added, making the architect a central figure in the complex building process. In many cases, he thereby becomes the only contact person for the builder-owner in all questions concerning the construction project. This results in responsibility with high risks of liability, which are constantly extended by the judiciary.

An example of this professional liability risk is the so called "Arglisthaftung", the liability towards malicious intent. To do something with malicious intent is extremely problematic for an architect, as the statutory period of limitation for rights to claim damages for any defects can be extended from five to thirty years. In most cases, the courts are satisfied with the evidence of a first impression to prove a breach of duty of the architect. This article explaines these connections with help of an interdisciplinary method by examining constructional as well as legal aspects.

Einleitung

Ein Gebäude wird auf einem Grundstück errichtet, das im Hochwassergebiet der Elbe liegt. Um in dieser Problemlage ein schlüssiges Abdichtungskonzept für das Kellerbauwerk zu erstellen, sind Kenntnisse über die anstehenden Bodenschichten und den höchsten Grundwasserstand zwingende Voraussetzung.

Der Architekt, der hier im Auftrage eines Generalübernehmers tätig ist, versäumt es allerdings, ein Bodengutachten einzuholen. Ein gerichtlich bestellter Sachverständiger stellt später fest, dass die ausgeführte Dränage aufgrund von Planungsfehlern nicht funktioniert, und darüber hinaus eine Vielzahl von Ausführungsfehlern vorliegt. Insbesondere ist die Dichtung des Kellermauerwerks gegen drückendes Grundwasser mangelhaft ausgeführt worden[1].

Aus welchem Grund hier überhaupt eine Dränage geplant und zur Ausführung gebracht wird, bleibt fraglich, da durch sie ansteigendes Grundwasser prinzipiell nicht abgeleitet werden kann. Offensichtlich ist sich der Planer trotz der exponierten Lage in einem Hochwassergebiet der Belastungssituation durch das Grundwasser nicht bewusst.

Zu einem Zeitpunkt, als die vereinbarte Verjährungsfrist nach VOB/B bereits verstrichen ist, entschließen sich die Bauherren zur Klage gegen den Generalübernehmer. Hinsichtlich der Verjährung von Mängelansprüchen gehört es zum Standard anwaltlicher Beratung gegenüber dem Bauherrn, der Frage nachzugehen, ob man dem Beklagten eine Pflichtverletzung anlasten kann, für die eine längere, noch nicht abgelaufene Verjährungsfrist anzuwenden ist. An diesem Punkt kommt Arglist ins Spiel, denn dafür sind im privaten Baurecht längere Verjährungsfristen vorgesehen.

Arglist - Was versteht man darunter?[2]

Durch Vorspiegeln falscher Tatsachen oder Unterdrücken wahrer Tatsachen kann man einen Vertragspartner täuschen. Die Täuschung ist jedoch nur dann als arglistig zu bezeichnen, wenn sie vorsätzlich erfolgt. Wird einem Architekten arglistiges Verhalten vorgeworfen, muss nachgewiesen werden, dass er mit Vorsatz gehandelt hat, was bedeutet, dass er die Täuschung bewusst und willentlich begangen haben muss.
Die Unterdrückung wahrer Tatsachen wird juristisch als arglistiges Verschweigen bezeichnet. Verschweigt beispielsweise der Verkäufer eines Pkws einen Unfallschaden, um etwa einen höheren Kaufpreis durchzusetzen, so handelt er arglistig. Verheimlicht ein bauüberwachender Architekt gegenüber seinem Auftraggeber bei der Abnahme der Architektenleistung einen Mangel an seiner eigenen Leistung, so kann auch sein Verhalten als arglistig gewertet werden. In Urteilsbegründungen ist dann oftmals sinngemäß zu lesen: Der Architekt habe gegenüber dem Bauherrn seine Offenbarungspflicht nicht erfüllt. Er hätte seinen Auftraggeber über den Mangel an seiner eigenen Leistung nicht im Unklaren lassen dürfen.
Ob und in welchem Umfang eine Pflicht zum Reden zwecks Aufklärung des Vertragspartners besteht, wird durch den Grundsatz von „Treu und Glauben“ (§ 242 BGB) bestimmt. Durch diesen allgemeinen Grundsatz des deutschen Rechtssystems sollen die in der Gemeinschaft sowie durch die Grundrechte herrschenden Wertvorstellungen u. a. bei der Abwicklung von Verträgen berücksichtigt werden [3]. Man kann es somit als Gebot der Redlichkeit betrachten, den Vertragspartner über Fehler eben auch an der eigenen Leistung aufzuklären, d.h. sie ihm zu offenbaren.

Im oben beschriebenen Fall ist der Architekt vom Generalübernehmer nicht nur mit der Planung, sondern auch mit der Objektüberwachung beauftragt worden. Vor Gericht räumt er ein, dass er sich entgegen der ausdrücklich vertraglich übernommenen Bauüberwachungspflicht auf die „Fachbauleitung“ der bauausführenden Firma verlassen und keinerlei Kontrollen vorgenommen habe. Hätte er dies getan, hätten ihm die zahlreichen, schwerwiegenden Ausführungsmängel auffallen müssen [4].
“Verschweigt der mit der Bauüberwachung beauftragte Architekt bei der Abnahme der Leistung, dass er seine Aufgaben nicht wahrgenommen und keinerlei Kontrollen vorgenommen hat, so hat er damit den Mangel seiner Leistung bei der Abnahme arglistig verschwiegen,“ [5] führt der Bundesgerichtshof zu diesem Fall aus. Korrekt hätte sich der Architekt also dann verhalten, wenn er spätestens bei der Abnahme der Architektenleistung den Mangel an seiner eigenen Leistung offenbart hätte. Das als arglistig zu wertende Kalkül des Architekten lag darin, die nicht vorgenommenen Kontrollen verschwiegen zu haben, um dadurch die Abnahme seiner eigenen Leistungen nicht zu gefährden.

Im dargestellten Fall muss sich der Generalübernehmer das Fehlverhalten des Architekten (Erfüllungsgehilfe) zurechnen lassen. Er verliert den Prozess, weil die Verjährungsfrist für Mängelansprüche aufgrund des arglistigen Verhaltens des Architekten noch nicht abgelaufen ist.

Die Logik des Anscheinsbeweises

Welche Folgen kann es aber haben, wenn ein Architekt die ihm übertragenen Bauüberwachungspflichten zwar erfüllt aber trotzdem einen Mangel übersieht?
Mangel ist nicht gleich Mangel, und der bauüberwachende Architekt ist auch nicht verpflichtet, sich ständig auf der Baustelle aufzuhalten. „Er muss allerdings die Arbeiten in angemessener und zumutbarer Weise überwachen und sich durch häufige Kontrollen vergewissern, dass seine Anweisungen sachgerecht erledigt werden. Bei wichtigen oder bei kritischen Baumaßnahmen, die erfahrungsgemäß ein hohes Mängelrisiko aufweisen, ist der Architekt zu erhöhter Aufmerksamkeit und zu einer intensiveren Wahrnehmung der Bauaufsicht verpflichtet.“ [6].
Bliebe die Frage zu klären, was sind „wichtige“ bzw. „kritische“ Bauarbeiten. Generell sind es solche, die für das Gelingen des gesamten Gebäudes von erheblicher Bedeutung sind. Eine abschließend vollständige Aufzählung darüber existiert allerdings nicht, man kann sich nur daran orientieren, was Gerichte im Einzelfall entschieden haben.
Für die Standsicherheit relevante Betonarbeiten gehören dazu aber in jedem Falle auch Abdichtungsarbeiten an erdberührenden Bauteilen sowie an Flachdächern, Balkonen, Terrassen und Loggien.
Wenn Mängel bei derartigen Bauarbeiten auftreten, kann und darf sich der Architekt nicht darauf zurückziehen, zwar die Bauüberwachung ausgeführt, aber Mängel an eben diesen Leistungen nicht gesehen zu haben. Er muss sich sonst gegebenenfalls vor Gericht vorhalten lassen, die Bauleitung für ein besonders risikoträchtiges Bauteil bewusst unterlassen zu haben. Allein aus dem Bestehen eines Mangels, und zwar dann, wenn

er besonders schwerwiegend ist, kann ein Gericht bereits schließen, dass die Bauaufsicht bezüglich der betreffenden Arbeiten nicht vorgenommen worden ist.
In der ständigen Rechtsprechung sind neben dem Kriterium des besonders schweren Mangels eine Reihe weiterer Merkmale herausgearbeitet worden, die auf eine fehlerhafte Bauüberwachungstätigkeit des Architekten schließen lassen:

- besondere Augenfälligkeit des Mangels,
- Häufigkeit des gleichen Mangels (Serienfehler),
- wenn sich Anhaltspunkte für Mängel bereits im Verlauf der Bauausführung ergeben haben.

Wird einem Architekten arglistiges Verhalten unterstellt, muss dies von der Seite des Klägers bewiesen werden. Keine leichte Aufgabe für einen Anwalt, liegt jedoch eines der oben genannten Merkmale vor, kann in manchen Fällen der Beweis des ersten Anscheins helfen [7]. Ein Anscheinsbeweis liegt dann vor, wenn ein erwiesener Sachverhalt (Baumangel) der Lebenserfahrung nach auf eine bestimmte, typische Ursache oder einen bestimmten Geschehensablauf (fehlerhafte Bauüberwachungstätigkeit) hinweist, dieser also indirekt dem Anschein nach bewiesen wird [8]. Dies heißt im Klartext, dass jeder Baumangel der besonders schwer oder besonders augenfällig ist, der besonders häufig auftritt oder der bereits im Verlauf der Bauausführung Anhaltspunkte für Mängel erkennen lässt, nach der Logik des Anscheinsbeweises eine fehlerhafte Bauleitung begründen kann. Der im Folgenden geschilderte Fall bezieht sich auf diese Zusammenhänge.

Der Architekt darf sich nicht unwissend halten

Ein Mehrfamilienhaus, für das die Beklagten und ihre Partner die Leistungsphasen 1 - 9 des § 15 Abs. 2 HOAI übernommen haben, wird im Juni 1994 fertig gestellt und von der Klägerin abgenommen. Zur Klageerhebung entschließt sich die Klägerin im November 2002, also mehr als acht Jahre nach der Abnahme, nachdem erstmalig ein Jahr zuvor im Bereich einer Dachterrassenwohnung Feuchtigkeitsschäden aufgetreten sind.
Der im Rahmen des Rechtsstreits tätige Sachverständige stellt ein Jahr später in seinem schriftlichen Gutachten fest, dass an sämtlichen der 12 Balkone die Durchdringungen der von oben durch die Abdichtung geführten Fallrohre unsachgemäß, d. h. ohne Rohrhülsen und Flansche ausgeführt worden seien. Mit ursächlich dafür seien die zu geringen Abstände der Rohrdurchführungen zur Hauswand. Zudem sei die Abdichtung lediglich stumpf an die Rohre heran oder geringfügig auf die Rohre geführt worden. Ferner wiesen auf zehn der 12 Balkone die einzelnen Lagen der Abdichtung untereinander keinen oder einen nur eingeschränkten Verbund auf, und es seien unzulässigerweise Bitumenbahnen mit Aluminiumeinlage verwendet worden. Auf zwei Balkonen sei die Begutachtung des Abdichtungsaufbaus nur sehr eingeschränkt möglich gewesen, da Wasser mehrere Zentimeter hoch auf der Abdichtung gestanden hätte. Bei allen 12 Balkonen seien zudem Gullys mit ungeeigneten Aufsätzen zum Einsatz gekommen, die in der Abdichtungsebene keine Entwässerungsmöglichkeit aufwiesen. Im Ergebnis stellt das Gericht fest, dass nicht auf einem einzigen der Balkone die Abdichtungsbahnen mangelfrei verlegt respektive Bodeneinläufe und Rohrdurchdringungen ordnungsgemäß hergestellt worden seien [9].

Die Beklagten, die ursprünglich angegeben haben, die Rohrdurchführungsarbeiten „auch entsprechend überwacht“ zu haben, räumen später ein, die entgegen ihrer Planung zu dichten Abstände der Rohrdurchführungen zur Hauswand nach deren Fertigstellung durch die Werkunternehmer bemerkt zu haben. Da jedoch die Herstellung neuer Durchbrüche einen unverhältnismäßig hohen Aufwand erfordert und zu einer Behinderung des Baufortschritts geführt hätte, hätten sie es bei den vorhandenen Durchbrüchen belassen und mit der bauausführenden Firma, die die planwidrige Herstellung zu vertreten hätte, eine besonders sorgfältige Ausführung der Abdichtung der Rohrdurchführungen vereinbart.
Vermutlich unterliegen die Beklagten hier dem Irrtum, sich mit dieser Argumentation entlasten zu können. Das Gericht hingegen stellt fest, dass die Eindichtungsarbeiten der Rohrdurchführungen und Bodeneinläufe von den Architekten mit besonderer Sorgfalt hätten überwacht werden müssen, da sich Anhaltspunkte für Mängel durch die nicht plangemäße Ausführung der Rohrdurchführungen bereits im Verlauf der Bauausführung gezeigt hätten.
Eine solche, besonders sorgfältige Überwachungstätigkeit tragen die Beklagten vor Gericht allerdings nicht vor. Erhebliche Indizien für die fehlende Durchführung der Bauüberwachung durch die Beklagten und ihre Mitarbeiter stellen zudem die Schwere, die besondere Augenfälligkeit und die Häufigkeit der festgestellten Abdichtungsmängel dar, führt das Gericht weiter aus. Für einen fachkundigen Architekten hätten die vorhandenen Mängel durch bloße Inaugenscheinnahme „auf den ersten Blick“ erkennbar sein müssen. Da sämtliche Balkone im beschriebenen Ausmaß mängelbehaftet seien, sei ausgeschlossen, dass die Ausführung der

Abdichtungsarbeiten auch nur stichprobenartig überprüft wurde. Die Architekten hätten sich damit bezüglich der vorhandenen Ausführungs- und Materialmängel bewusst unwissend gehalten.
Die vertraglich vereinbarte aber nicht durchgeführte Bauüberwachung der Abdichtungsarbeiten hätten die Beklagten spätestens bei der Abnahme der Architektenleistungen der Klägerin offenbaren müssen. Nach dem oben erläuterten Prinzip von Treu und Glauben wären sie dazu verpflichtet gewesen, ihre Auftraggeberin über diesen Mangel an ihrer eigenen Leistung zu informieren.
Sie hätten ihre Vertragspartnerin damit über vorhandene Baumängel oder zumindest über die Möglichkeit des Vorhandenseins solcher Mängel in Kenntnis gesetzt und dadurch die Chance eröffnet, auf diese Situation angemessen reagieren zu können.
Das Gericht kommt zu dem Schluss, dass durch den Verstoß gegen die Offenbarungspflicht die fehlende Bauüberwachung im Bereich der Abdichtungsarbeiten von den Beklagten arglistig verschwiegen worden und somit nicht verjährt sei.
Das Gericht führt weiter aus, dass ein arglistiger Verstoß gegen vertragliche Offenbarungspflichten nicht nur dann vorliege, wenn bekannte Mängel verschwiegen würden: „Vielmehr kann sich ein Architekt seiner vertraglichen Offenbarungspflicht bei Ablieferung des fertigen Werkes nicht dadurch entziehen, dass er sich – wie die Beklagten und ihre Partner – bewusst unwissend hält. Ihre eigene Unwissenheit auf Grund fehlender Bauüberwachungstätigkeit bei den Abdichtungsarbeiten auf den Balkonen hätten die Beklagten der Klägerin offenbaren müssen“ [10].
Die folgende Abb. 1 zeigt Varianten arglistigen Verschweigens und nennt die zugrunde liegenden Urteile.

Pflichtverletzung	Gerichtliche Wertung		maßgebl. Urteile
Architekt kommt seiner Objektüberwachungspflicht überhaupt nicht nach	"hält sich unwissend" →	Verletzung der Offenbarungspflicht ↑ Arglist	OLG Naumburg vom 12.11.03 Az. 6 U 90/03, BGH vom 17.6.04 Az. VII ZR 345/03
Architekt überwacht, aber übersieht schwere, häufige oder augenfällige Mängel	"hält sich teilweise unwissend" →		KG Berlin vom 8.12.2005 Az.: 4 U 16/05, OLG Stuttgart Az.: 5 U 22/08 vom 21.4.2008
Architekt kennt die Mängel vor der Abnahme, aber setzt ihre Beseitigung nicht durch und rät nicht zur Abnahmeverweigerung	"versetzt den Bauherrn über Mängelfreiheit des Bauwerks und die Abnahmereife in einen Irrtum" →		OLG Rostock Az.: 4 U 82/03 vom 27.9.2005

Abb. 1: Varianten arglistigen Verschweigens

Zusammenfassung

Die Idee, eine Pflichtverletzung des bauüberwachenden Architekten als arglistig zu definieren, um die bereits abgelaufene 5-jährige Verjährungsfrist zu umgehen, liegt also im Sinne einer professionellen anwaltlichen Beratung des Bauherrn sehr nahe. Für den Architekten führt dieser Kunstgriff zu einer deutlichen Haftungsausweitung und damit verbunden zu einem steigenden Risiko in seiner Berufsausübung. Besonders problematisch hinsichtlich des Berufsrisikos des Architekten wirkt sich aus, dass das arglistige Verhalten eine bewusste, willentliche Handlungsweise voraussetzt. Bei Vorsatz oder bewusster Pflichtwidrigkeit allerdings sind Schutz und Leistung, die die Berufshaftpflichtversicherung des Architekten bei Bauschäden üblicherweise bietet, ausgeschlossen. Der Architekt als Versicherungsnehmer steht also – verhält er sich arglistig – innerhalb einer bis zu 30 Jahre währenden Höchstfrist ohne Versicherungsschutz da.
Die Arglistverjährung kann zum Nachteil des Architekten oft gezielt zum Unterlaufen der 5-jährigen Verjährungsfrist eingesetzt werden [11].

Literatur

[1] Urteil: OLG Naumburg, Az.: 6 U 90/03 vom 12.11.2003.

[2] Othmar Jauernig (Hrsg.) (2005), Bürgerliches Gesetzbuch, Kommentar, München, S. 65, Rn. 3 und 4.

[3] Palandt (2009), Bürgerliches Gesetzbuch, München, §242, Rn. 4, S. 248 und Lexikon von Juraforum, Internet: juraforum.de/lexikon, [Stand: 28.09.2009].

[4] Urteil: OLG Naumburg, Az.: 6 U 90/03 vom 12.11.2003.
[5] Urteil: BGH, Az.: VII ZR 345/03 vom 17.6.2004.
[6] Urteil: OLG Stuttgart 5 U 22/08 vom 21.4.2008.
[7] Kniffka (2008), ibr-online-Kommentar Bauvertragsrecht, § 634a Rn.64 [Stand: 3.6.2008].
[8] Palandt (2009), Bürgerliches Gesetzbuch, München, Vorb. von §249, Rn. 163, S. 292.
[9] Urteil: LG Berlin 5 O 529/02 vom 9.12.2004.
[10] Urteil: LG Berlin 5 O 529/02 vom 9.12.2004.
[11] Othmar Jauernig, a.a.O., S. 839, Rn. 11.

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Sven Gärtner
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 2276
E-Mail: gaertner@beuth-hochschule.de

Dr. Rolf Theißen
Rechtsanwalt und Notar/Fachanwalt für Bau- und Architektenrecht
Kanzlei TSP Theißen, Stollhoff & Partner
10117 Berlin
Leipziger Platz 11,
Telefon: +49 30-3997760
E-Mail: Berlin@ts-law.de

Ulrich Langen
Leiter der Rechtsabteilung
AIA Architekt-Ingenieur-Assekuranz AG,
40479 Düsseldorf
Schäferstr. 4
Telefon: +49 211-493650
E-Mail: info@aia.de

Konzept eines Einwegspritzensystems auf Blisterbasis

Prof. Dr.-Ing. Ingo Sabotka, B. Eng. Benjamin Henk
Forschungsschwerpunkt: Bionik im Verpackungswesen

Kurzfassung
Mit dem Ziel ein neues Konzept für die Entnahme einer Körperblutprobe zu erstellen, wurde im Fachbereich Life Sciences and Technology der TFH Berlin ein Einwegspritzensystem auf Basis einer Blisterverpackung entworfen.

Abstract
A disposable injection system based on blister packages was created at the department of Life Sciences and Technology of the TFH Berlin with the intention to develop a new conception of the extraction of a blood sample.

Einleitung

Idee der Forschung war es, ein Konzept für die Kombination von einer Blisterverpackung mit einem Injektionssystem zu erstellen, um eine anwenderfreundliche Blutprobenentnahme bzw. Punktion zu ermöglichen. Der entsprechende pharmazeutische Verpackungsbereich zeichnet sich durch eine große Diversität aus. Bei Einweg-Injektionssystemen ist eine effiziente Handhabung dadurch erschwert, dass Hygienebelange bei der Montage vor Gebrauch, sachgemäße Handhabung während der Punktion und Sicherheitsaspekte bei der Demontage nach Gebrauch zu beachten sind. Bei einer herkömmlichen Blutanalyse ist gegebenenfalls eine Zwischenlagerung der Blutprobe in anderen Gefäßen für die Zusammenführung mit Reagenzien nötig. Hier können Kennzeichnungsfehler, Verwechslungen oder Handhabungsfehler folgenschwer sein. Des Weiteren haben viele Benutzer aus Angst vor der Punktion Probleme, sich selbst zu spritzen.

Entwurf und Wirkungsweise

Durch die Verbindung von Blisterverpackungen mit Injektionselementen sollte ein Konzept zur Verdeckung des Stechvorganges entworfen werden. Weitere Ziele waren die Reduzierung der Produktkosten sowie die Verbesserung der Handhabung durch die Zusammenlegung von einzelnen Komponenten der Standardverfahren. Die Zusammenlegung lässt eine verbesserte Handhabung, eine Reduzierung der Kosten gegenüber den Einzelprodukten und eine verkaufsfördernde Wirkung durch die Neuartigkeit erwarten. Bei dem Versuch eine optimale Verpackung zu entwickeln, wurde die Bionik als Methode zur Konzeptfindung verwendet.
Die Bionik beschäftigt sich mit der Entschlüsselung von in der Natur vorhanden Wirkprinzipien und deren Übertragung in die Technik. Sie versucht somit technisch wirtschaftliche und ökologisch verträgliche Grundlagen für die Herstellung von Produkten und Systemen zu schaffen. Die Basis der Bionik ist dabei der hohe Entwicklungsstand natürlicher Systeme. Die Natur hat in den Jahrmillionen der Evolution zwangsweise biologisch, technisch und ökonomisch auf das jeweilige Habitat optimierte Lösungen geschaffen. Dabei verfolgt sie das Prinzip der Nachhaltigkeit. Demnach sollten Lösungen alle qualitativen und quantitativen Anforderungen erfüllen und gleichzeitig eine Weiterentwicklung gewährleisten, ohne Folgeprobleme zu hinterlassen. Durch die äußerst effizienten und speziellen Problemlösungen sind biologische Prozesse ein nachahmenswertes Vorbild für technische Prozesse in der Industrie. Dazu muss das jeweilige Grundprinzip des biologischen Prozesses herausgefiltert und verstanden werden [2].
Seit 2005 initiiert die hochschuleigene Fachgruppe für Bionik, die Bionic Research Unit, Forschungsprojekte zum Thema.
Um einen optimalen Injektionsvorgang zu schaffen, wurde das Wirkprinzip von Stech- und Saugvorgängen aus der Natur untersucht, um eine Übernahme des Prinzips in die Technik, speziell in die Blistertechnologie, zu ermöglichen. Dieser erwähnte Stechvorgang ist für eine Vielzahl von Insekten ein überlebenswichtiger Vorgang, da er oft die einzige Möglichkeit der Nahrungsaufnahme darstellt. Zu erwähnen sind hierbei z.B. Mücken und Zecken. Desweiteren gibt es diverse Insekten und Spinnentiere, wie Bienen und Skorpione, die ein an ein Giftdepot angeschlossenes Stechsystem zur Verteidigung und zur Erlegung von Beute besitzen. Nach der Selektierung des Wirkprinzips sollte die Übernahme und Integrierung in eine Blisterverpackung erfolgen.
Vergegenwärtigt man sich die Giftblase am Ende eines Skorpionschwanzes, so kann diese repräsentativ für natürliche Injektions- und Saugsysteme gelten. Ausgehend von derartigen Systemen wurden die folgenden

Entwürfe erstellt. Das Abb. 1 ist ein 3D-Entwurf einer möglichen Blutprobenblister-Variante. Die Abb. 2 und 3 stellen einen weiteren schematischen Entwurf in verschiedenen Phasen der Blutentnahme dar.

Abb. 1: 3D-Entwurf des Blisters zur Blutentnahme [3]

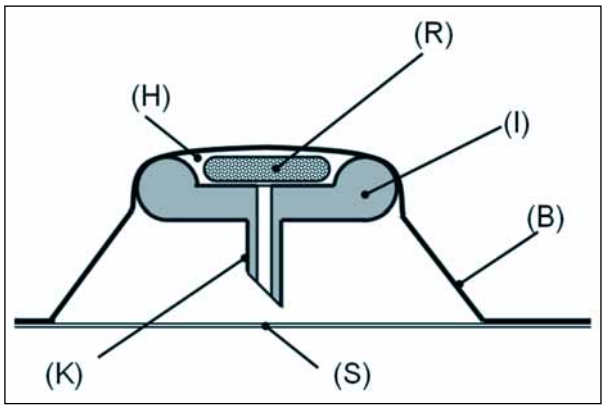


Abb. 2: Schematischer Entwurf des Blisters [1]

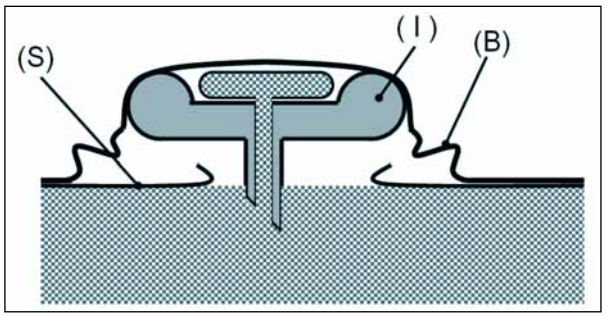


Abb. 3: Die Schutzfolie ist durchbaochen und das Blut durch die Kanüle gesaugt [1]

Das Einweg-Injektionssystem wird über die Fingerkraft des Anwenders beaufschlagt. Zunächst wird zwischen der Schutzfolie *S* und der Haut des Probanden eine schlüssige Auflageverbindung hergestellt. Ein Anwender oder der Proband selbst setzt nun den Applikationsprozess in Gang, indem er mit dem Finger auf den Kopf des Blisters drückt. Die beaufschlagende Kraft bewirkt konstruktionsbedingt zuerst eine elastische Verformung des Blistergehäuses *B* im Kopfbereich und eine Volumenverkleinerung im Bereich des hydraulischen Raumes *H*. Im weiteren Verlauf der Beaufschlagung durchbricht die Kanüle *K* zuerst die Schutzfolie *S*. Dann wird das Blistergehäuse *B* im Sockelbereich plastisch verformt und die Kanüle *K* dringt in das Hautgewebe ein, wie schematisch in Abb. 2 dargestellt. Der hydraulische Raum *H* ist zu diesem Zeitpunkt weiterhin durch die Druckkraft beaufschlagt (elastische Verformung). Bei Entlastung bewirkt eine elastische Rückverformung des hydraulischen Raumes *H* (gegebenenfalls in Union mit der osmotischen Saugkraft des Trägermaterials der Analyseeinheit) ein Ansaugen von Körperblut durch die Kanüle *K*.

Bei vollständiger Entlastung kommt es nach den Gesetzen der Strömungsmechanik zu einem Gleichgewichtszustand; der hydraulische Raum *H* ist mit Fluid angefüllt. Das Einweg-Injektionssystem kann von der Haut entfernt werden. Die Blutprobe steht zu einer nachfolgenden Analyse bereit.
Hinsichtlich der verwendeten Werkstoffe kann nach der Analyse das Injektionssystem einer Entsorgung zugeführt werden, wie sie für Blisterverpackungen üblich ist.

Erreichbare Vorteile

Durch eine Kombination von Blister, Injektionssystem und Analyseeinheit in einer integrierten Bauweise (hydraulischer Raum) kann ein preisgünstiges und in der Handhabung einfaches Einweg-, Injektions- und Analysesystem entstehen.
Die Blutanalyseeinheit kann als integraler Bestandteil des Blister-Injektionssystems ausgeführt werden. Der hydraulische Raum beherbergt dann ein chemisches Reagenz. Die Änderung visueller Parameter aufgrund der Reaktion des Blutes mit dem Reagenz kann durch das transparente Blistermaterial registriert, analysiert und visuell dargestellt werden. Das gebrauchsfertige Einweg-Injektionssystem besteht aus einem einzigen Komplexteil und eignet sich zur Massenproduktion. Die integrierte Bauweise verringert den strukturellen Aufwand (Volumen, Gewicht). Montage und Demontage der Einzelteile vor und nach der Anwendung entfällt. Die Handhabung ist auch dem ungeschulten Anwender möglich.
Die folgende Tab. 1 stellt die einzelnen Prozessschritte einer Standard-Blutprobenentnahme dar. Einige Prozessschritte können äquivalent in den Blister übernommen werden und einige können ganz entfallen.

Prozesselemente Standard-Spritze	Integrierbarkeit in Blister
Bereitstellung von:	
1 steril verpackte Kanüle	Ja
1 Spritze	Ja
Desinfektionslösung	Nein
2 Tupfer	Nein
Prozessschritte:	
Händedesinfektion	Nein
Spritze aus Verpackung nehmen	Entfällt
Kanüle aus Verpackung nehmen	Entfällt
Spritze und Kanüle zusammenstecken	Entfällt
Kanüle in Schutzkappe belassen	Entfällt
Punktionsfläche desinfizieren	Nein
30 Sekunden warten	Ja
Kanülenschutz abnehmen	Entfällt
Punktieren	Ja
Blutprobe aufziehen	Ja
Kurz warten, Kanüle entfernen	Ja
Nachwischen	Nein
Blutprobe zur weiteren Analyse geben	Kann entfallen
Kanüle in Sicherheitsbehälter geben	Kann entfallen

Tab. 1: Integrierbarkeit von Prozesselementen

Fazit und Ausblick

Kombinationen von Blisterverpackungen und Injektions- sowie Analyseelementen können im Vergleich zu bestehenden Einzelsystemen zur Blutanalyse Vorteile hinsichtlich der Convenience, der Produktkosten und des Zeitaufwandes des Blutabnahmeprozesses erreichen. Durch den Einsatz der Bionik können Techniken und Prozessabläufe auf Nachhaltigkeit ausgerichtet analysiert und optimiert werden. Als nächster Schritt sollte das System des Blisters zur Entnahme einer Blutprobe eingehend auf technische Produzierbarkeit und auf die Übertragungsmöglichkeit in weitere technische Anwendungen untersucht werden.

Literatur

[1] Dienst, M.; Henk, B.; Litvinova, V. (2008): Einwegspritzensystem auf Blisterbasis zur Entnahme einer Körperblutprobe, IPC A61B /5/157 (2006.1) Gebrauchsmusterschrift DE 20 2008 010 918.3. (DE 20 2008 010 918 U1 2009.01.29).

[2] Dienst, M. (2004): Bionik Engineering Design, Bionik ED Skript.

[3] Henk, B. (2008): Cinema 4D.

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Ingo Sabotka
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 5083
E-Mail: sabotka@beuth-hochschule.de

B. Eng. Benjamin Henk
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Str. 10
13353 Berlin

Entwicklung von Zellkultursystemen zur Produktion diagnostischer und therapeutischer Glykoproteine mit modifizierter Sialylierung

Dr. Heinz Möller, Dr. Stefan Reinke, MTA Marion Bayer, Prof. Dr. rer. nat. habil. Stephan Hinderlich Forschungsschwerpunkt: Glykobiotechnologie

Kurzfassung

Die Glykobiotechnologie trägt maßgeblich zur Verbesserung therapeutisch oder diagnostisch einsetzbarer Glykoproteine wie Antikörper oder Hormone bei. Unsere Arbeitsgruppe befasst sich mit der Suche und Optimierung von Methoden, die die Produktion rekombinanter Glykoproteine mit neuartigen Eigenschaften erlauben. Hier präsentieren wir ein Verfahren zur gezielten Modulation von Schlüsselenzymen der Biosynthese funktionell wichtiger Monosaccharide in Zelllinien, die für die Herstellung von Glykoproteinen genutzt werden.

Abstract

The improvement of the functions of therapeutic and diagnostic glycoproteins as antibodies or hormones is one of the major goals of glycobiotechnology. Our group deals with the development of procedures for the production of recombinant glycoproteins with new features. Here we present a method for the targeted modulation of key enzymes in the biosynthesis of functionally important monosaccharides in cell lines used for the production of glycoproteins.

Einleitung

Die Entwicklung von therapeutisch oder diagnostisch einsetzbaren Proteinen gewinnt zunehmend an Bedeutung für die moderne Medizin. So bietet der Einsatz monoklonaler Antikörper im Bereich der Tumortherapie neue Ansatzpunkte für die Behandlung von Patienten [1]. Sowohl therapeutisch angewandte Antikörper als auch andere rekombinante Proteine weisen ein charakteristisches Glykosylierungsmuster auf.

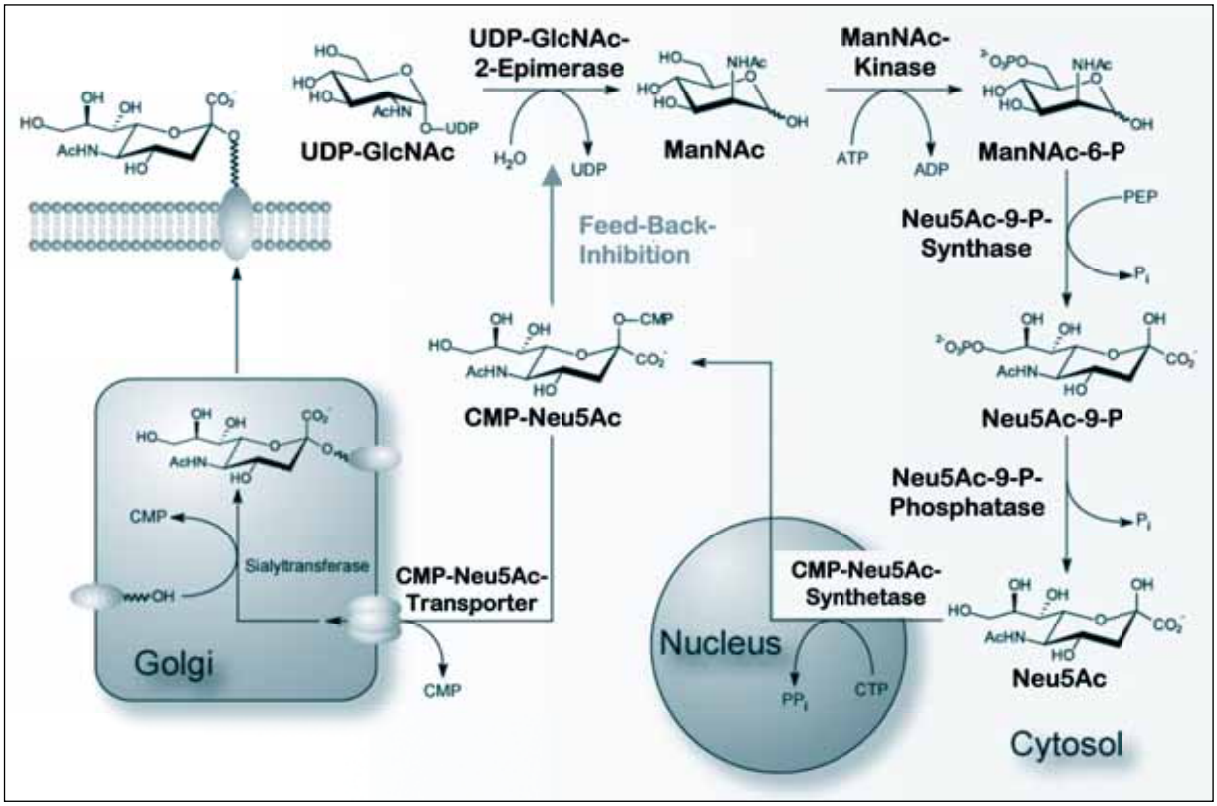


Abb. 1: Biosyntheseweg von Sialinsäure. Schematisch dargestellt sind die an der Sialinsäurebiosynthese beteiligten Enzyme, die von ihnen katalysierten Reaktionen und die chemischen Strukturen der Metabolite.

Die Proteine enthalten spezifische Zuckerketten (Oligosaccharide), die durch glykosidische Bindungen mit dem Proteinrückgrat verknüpft sind. Dadurch werden die strukturellen und funktionellen Eigenschaften der Proteine beeinflusst [2]. Eine besondere Bedeutung bei der Funktionsgebung der Oligosaccharide haben terminal lokalisierte Sialinsäuren, carboxylierte Aminozucker aus neun Kohlenstoffatomen. Durch Modulation der Struktur der Zuckerketten ist es möglich, die Eigenschaften der Glykoproteine gezielt zu verändern [3]. Ziel unserer Arbeitsgruppe ist die Etablierung zellulärer Systeme, die die Produktion rekombinanter Glykoproteine mit definierten Glykosylierungs- und insbesondere Sialylierungsmustern erlauben. Zur Produktion von rekombinanten Glykoproteinen verwendet man häufig Zellkultursysteme humanen Ursprungs, die weitestgehend die authentische Glykosylierung der Proteine gewährleisten und sich durch ein hohes Maß an Proteinproduktion, einfache Handhabung, Stabilität und leichte Manipulierbarkeit auszeichnen. Eine dieser Zelllinien ist die humane embryonale Nierenepithelzelllinie HEK293 [4]. Um den Glykosylierungsprozess in diesen Zellen zu steuern, bieten definierte Modulationen des entsprechenden intrazellulären Biosynthesewegs einen guten Ansatz [5]. Das Schlüsselenzym der Sialinsäurebiosynthese ist die UDP-N-Acetylglucosamin-2-Epimerase/N-Acetylmannosaminkinase (UDP-GlcNAc-2-Epimerase/ManNAc-Kinase; GNE). Dieses bifunktionale Enzym bildet zum einen ManNAc aus UDP-GlcNAc und zum anderen phosphoryliert es den entstandenen Zucker (Abb.1) [6]. Ein Funktionsverlust der GNE führt zum Verlust der Sialylierung von Glykoproteinen. Durch Zusatz entsprechender stromabwärts gebildeter Metabolite, wie z.B. ManNAc, kann dieser Effekt jedoch ganz oder teilweise kompensiert werden, so dass dadurch eine differenzielle Sialylierung von Glykoproteinen erreicht werden könnte [7].

Ergebnisse

Unser erstes Ziel war es, eine geeignete Methode zu finden, die GNE in HEK293-Zellen auszuschalten. Eine gute Möglichkeit, die Expression von Genen spezifisch zu regulieren, bietet die RNA-Interferenz. Bei dieser Methode bewirken kurze RNA-Oligonukleotide den Abbau der Messenger-RNA des entsprechenden Gens, das die komplementäre Zielsequenz enthält. Diese RNA-Oligonukleotide werden als small interfering RNAs (siRNAs) bezeichnet. Endogene siRNAs werden aus Vorläufermolekülen, den small hairpin RNAs (shRNAs), gebildet [8]. Für eine Vielzahl humaner Gene sind Vektoren kommerziell erhältlich, die für genspezifische shRNA-Sequenzen kodieren. Im Falle der humanen GNE standen shRNA-Vektoren mit fünf unterschiedlichen Sequenzen zur Verfügung. Eine Übersicht der Positionen der Zielsequenzen ist in Abb. 2A gegeben.

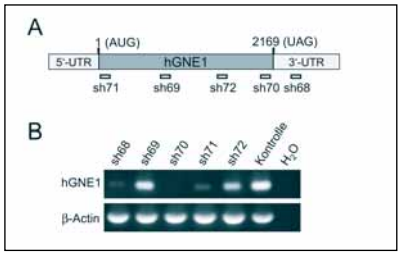


Abb. 2: Genspezifische shRNAs können die Expression von humaner GNE in HEK293-Zellen deutlich reduzieren. A) Schematische Darstellung humaner GNE-mRNA und Positionen von shRNA-Zielsequenzen in kodierenden (dunkelgrau) und nicht-kodierenden Bereichen (Untranslated Region, UTR). B) Bestimmung der Effizienz GNE-spezifischer shRNA-Vektoren in HEK293-Zellen. HEK293-Zellen wurden mit shRNA- bzw. Kontrollvektoren transfiziert. Die Menge der GNE-Transkripte und der ß-Aktin-Transkripte als Ladekontrolle wurde 48 Stunden nach der Transfektion mittels RT-PCR bestimmt.

Zunächst galt es, die Effizienz der einzelnen shRNAs zu prüfen. Zu diesem Zweck wurden HEK293-Zellen mit shRNA-Vektoren oder einem Kontrollvektor transfiziert. 48 Stunden nach der Transfektion wurde die Gesamt-RNA der Zellen isoliert und mittels Reverse- Transkriptase-Polymerasekettenreaktion (RT-PCR) die Menge an GNE-mRNA bestimmt (Abb. 2B). Im Vergleich zur Kontrolle weisen alle Banden eine Abnahme der Intensität auf. In den mit sh70-shRNA transfizierten Zellen waren kaum noch GNE-Transkripte nachweisbar, so dass hier von einem nahezu vollständigen Knock-Down ausgegangen werden darf. Um einen zusätzlichen Hinweis auf die Effizienz der shRNA zu bekommen, wurde deren Einfluss auf die Proteinexpression überprüft. Als Target diente hier GNE, welche mit dem grün fluoreszierenden Protein (GFP) gekoppelt war (Abb. 3A). GFP lässt sich sowohl im Western-Blot durch einen spezifischen Antikörper, als auch in der Immunfluoreszenz nachweisen. HEK293-Zellen wurden mit dem GNE-GFP-Plasmid und zusätzlich als Kontrolle mit dem GFP-Plasmid transfiziert. Während die GFP-Kontrolle in jedem Ansatz gleich stark exprimiert wurde, zeigten die mit sh70-shRNA kotransfizierten Zellen im Western-Blot eindeutig die stärkste Reduktion der GFP-GNE-Expression im Vergleich zu den weiteren Proben (Abb. 3B). Fluoreszenzmikroskopische Aufnahmen von mit sh70-shRNA-

transfizierten HEK293-Zellen zeigen im Vergleich zu den anderen shRNA-Vektoren die schwächste Intensität, was belegt, dass diese shRNA am effizientesten die Expression von GFP-GNE unterdrückt (Abb. 3C).

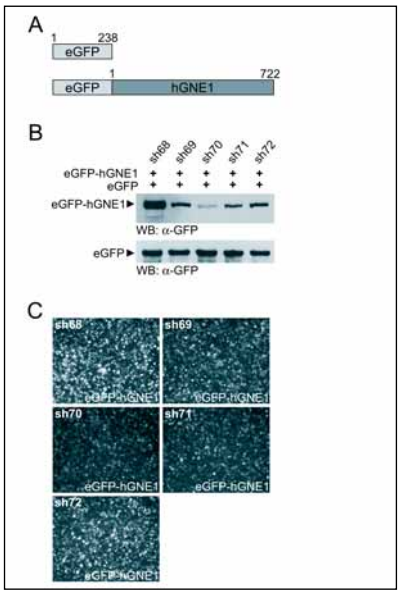


Abb. 3: Die Expression eines GFP-hGNE1-Fusionsproteins wird durch Ko-Transfektion mit GNE-spezifischen shRNAs vermindert. A) Struktur der verwendeten GFP-Konstrukte; Zahlen zeigen die Positionen der Aminosäuren an. B, C) Effekt von shRNAs auf die Expression des GFP-GNE-Fusionsproteins. B) Western-Blot-Analyse von Zelllysaten transfizierter HEK293-Zellen. Die Expression von GFP-hGNE1 wurde 48 Stunden nach Ko-Transfektion von GFP-hGNE1 mit den indizierten shRNA-Vektoren und GFP, als Transfektions- und Ladekontrolle, mittels SDS-PAGE und anschließendem Immunoblotten unter Verwendung des anti-GFP-Antikörpers analysiert. sh68-shRNA diente als Negativkontrolle, da sie nicht im kodierenden Bereich der GNE bindet (vergleiche mit Abb. 2A). C) Fluoreszenzaufnahmen von HEK293-Zellen 48 Stunden nach Ko-Transfektion mit GFP-hGNE1 und den indizierten shRNA-Vektoren.

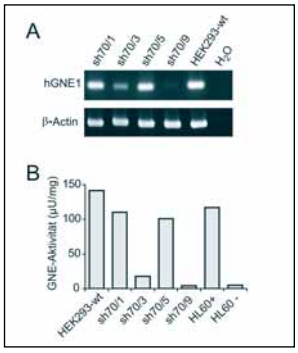


Abb. 4: Bestimmung der GNE-Expression und der GNE-Aktivität von stabil transfizierten HEK293-Zellklonen. A, B) HEK293-Zellen wurden mit dem shRNA-Vektor sh70 transfiziert und Puromycin-resistente Klone selektioniert. A) Quantifizierung der GNE-Expression. Aus den jeweiligen sh70-Zellklonen wurde die Gesamt-RNA isoliert und die Menge an GNE- bzw. ß-Aktin-Transkript mittels RT-PCR bestimmt. B) Bestimmung der enzymatischen Aktivität von Zelllysaten isolierter sh70-Klone mittels eines spezifischen radiometrischen UDP-GlcNAc-2-Epimerase-Assays. Die Promyelozytenzelllinien HL60+ und HL60- [7] dienten als Positiv- bzw. Negativkontrollen.

Für unser Vorhaben, die Sialylierung rekombinanter Proteine in Zellen zu kontrollieren, war es notwendig, Zelllinien zu generieren, die permanent wirksame shRNA gegen GNE exprimierten. Zu diesem Zweck wurden HEK293-Zellen mit sh70-shRNA transfiziert. Durch die Zugabe des Antibiotikum Puromycin zum Zellkulturmedium konnten einzelne HEK293-Klone selektioniert werden, in denen die Vektoren stabil integriert waren. Die GNE-mRNA-Expression im Klon sh70/9 konnte im Vergleich zur Wildtypkontrolle (HEK293-wt) und den weiteren getesteten Klonen nahezu vollständig unterdrückt werden (Abb. 4A). Mittels eines enzymatischen Tests wurden die Aktivitäten von vier sh70-Zelllinien mit denen von Wildtyp-HEK293-Zellen verglichen (Abb. 4B). Während die Klone sh70/1 und sh70/5, wie auch schon in der RT-PCR, keine deutlichen Effekte zeigten, war in den Zelllysaten der Klone sh70/3 und vor allem sh70/9 kaum bzw. keine GNE-Aktivität nachzuweisen (Abb. 4B). Unsere Daten zeigen daher, dass mittels RNA-Interferenz ein effektives genetisches Engineering von Zellen, die sich zur Produktion rekombinanter Glykoproteine eignen, möglich ist.

Ausblick

Die Generierung der Zelllinie sh70/9 hat gezeigt, dass ein genetisches Engineering des Schlüsselenzyms der Biosynthese von Sialinsäuren möglich ist. Diese Zelllinie kann nun genutzt werden, um potentiell interessante rekombinante Glykoproteine zu exprimieren und auf veränderte Sialylierung und modifizierte funktionelle Eigenschaften zu untersuchen. Desweiteren können mit dieser Zelllinie Ansätze zur differenziellen Sialylierung oder zum effektiven Einbau chemisch modifizierter Sialinsäureanaloga getestet werden. Wenn sich diese Methoden als erfolgreich erweisen, können sie für eine Vielzahl von Proteinen, die sich für diagnostische und therapeutische Zwecke eigenen, zum Einsatz gebracht werden.

Literatur

[1] Reichert, J. M. ; Valge-Archer, V. E. (2007): Development trends for monoclonal antibody cancer therapeutics. Nat. Rev. Drug Discov., 6(5): p. 349-356.

[2] Jefferis, R. (2005): Glycosylation of recombinant antibody therapeutics. Biotechnol. Prog., 21(1): p. 11-16.

[3] Wright, A. ;Morrison, S. L. (1997): Effect of glycosylation on antibody function: implications for genetic engineering. Trends Biotechnol., 15(1): p. 26-32.

[4] Thomas, P.; Smart, T. G. (2005): HEK293 cell line: a vehicle for the expression of recombinant proteins. J. Pharmacol. Toxicol. Methods, 51(3): p. 187-200.

[5] Hinderlich, S.; Oetke, C. ; Pawlita, M. (2005) Biochemical Engineering of Sialic acids. In: Handbook of Carbohydrate Engineering, Yarema, K. J. (ed.). Taylor & Francis, Boca Raton. pp. 387-405.

[6] Hinderlich, S. et al. (1997): A bifunctional enzyme catalyzes the first two steps in N-acetylneuraminic acid biosynthesis of rat liver. Purification and characterization of UDP-N-acetylglucosamine 2-epimerase/N-acetylmannosamine kinase. J. Biol. Chem., 272(39): p. 24313-24318.

[7] Keppler, O. T. et al. (1999): UDP-GlcNAc 2-epimerase: a regulator of cell surface sialylation. Science, 284(5418): p. 1372-1376.

[8] Dykxhoorn, D. M. et al. (2003): Killing the messenger: short RNAs that silence gene expression. Nat. Rev. Mol. Cell Biol., 4(6): p. 457-467.

Danksagung

Dieses Forschungsprojekt wird durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) mit Mitteln aus dem „Arbeitsgruppenwettbewerb Glykobiotechnologie“ finanziert.

Kontakt

Prof. Dr. rer. nat. habil. Stephan Hinderlich
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Str. 10
13353 Berlin
Telefon: +40 30-4504 3910
E-Mail: stephan.hinderlich@beuth-hochschule.de

Proteinchemische Untersuchungen der Muskeldystrophie

Dipl.-Ing. (FH) Jie Guo-Thürmann, Dr. Kunigunde Stephani-Kosin, Prof. Dr. Roza Maria Kamp
Forschungsschwerpunkt: Klinische Diagnostik und Therapie

Kurzfassung
Die Muskeldystrophie Typ Duchenne (DMD) ist eine vererbbare, unheilbare Krankheit, die auf einem genetischen Defekt des Dystrophin-Gens beruht. Bis heute weiß man wenig über Störungen auf molekularer Ebene, die durch das Fehlen von Dystrophin ausgelöst werden und zur Degeneration der Muskeln führen.
Ziel unserer Arbeit ist, mit Hilfe der Proteomik die Unterschiede im Proteinmuster von gesunden und kranken humanen Muskelzellen (DMD) zu finden. Dadurch können die krankheitsrelevanten Proteine charakterisiert und neue Therapien entwickelt werden.

Abstract
Duchenne muscular dystrophy (DMD) is a recessive X-linked form of muscular dystrophy, characterized by rapid progressive muscle degeneration. The disease is caused by a mutation in the gene coding for the protein dystrophin, an important structural component within muscle tissue. Today only limited knowledge exists about this disorder on the molecular level. The aim of our investigations is to find differences in protein expression between DMDs and controls, characterize relevant proteins and develop a suitable treatment.

Einleitung

Die Muskeldystrophien bilden eine heterogene Untergruppe der primären Myopathien und sind zum großen Teil vererbbare Erkrankungen, die zu einem fortschreitenden Schwund des Muskelgewebes führen. Nach den phänotypischen Merkmalen, wie charakteristische Lokalisation, Krankheitsverlauf und Erbgang, wurden die Muskeldystrophien in verschiedene Formen klassifiziert [1, 2]. Die häufigste und fortschreitende Form ist die Muskeldystrophie vom Typ Duchenne (DMD), die vom französischen Arzt Guillaume Duchenne de Boulogne bereits 1868 beschrieben wurde. Bei DMD handelt es sich um eine X-chromosomal-rezessive Erbkrankheit. Sie betrifft weltweit etwa einen von 3500 männlichen Neugeborenen [3]. Dementsprechend erkranken fast ausschließlich Jungen, da das ergänzende Y Chromosom keine Dominanzfunktion hat. Mädchen erkranken nur, wenn sie den Gendefekt auf beiden X-Chromosomen oder Störungen der X-Inaktivierung besitzen.
Die DMD beginnt zwischen dem 2. und 5. Lebensjahr mit einer Muskelschwäche im Beckengürtel- und Oberschenkelbereich, so dass Probleme beim Laufen und Treppensteigen auftreten. Charakteristisch für den Typ Duchenne sind die „Gnomenwaden“. Sie entstehen durch Fetteinlagerungen in dem Bindegewebe der Unterschenkel-Muskulatur. Ein klassisches Symptom ist das Gowers-Zeichen. Aufgrund der Schwäche der Hüft- und Kniestrecker rollen sich die Patienten zunächst auf den Bauch, um sich dann nach der Vierfüßerstellung mit den Händen an den Beinen hochzudrücken [4]. Das beidseitige Trendelenburg-Zeichen mit entsprechendem Watschelgang, das Abkippen der Hüfte beim 1-Bein-Stand, ist ein weiteres typisches Symptom. Die Symptome zeigen eine symmetrische Schwäche der proximalen Muskulatur an [1]. Infolge des Muskelschwundes kommt es zu schmerzhaften Fehlstellungen von Gelenken und Knochenverformungen. Ab dem 8. Lebensjahr sind die betroffenen Patienten in der Regel bereits auf den Rollstuhl angewiesen. Im zweiten Lebensjahrzehnt führt Ateminsuffizienz, begleitet durch rezidivierende pulmonale Infekte oder das Versagen der Herzmuskulatur, zum Tode [5].

Therapie

Eine ursächliche Therapie für DMD ist bisher nicht möglich. Der Krankheitsverlauf lässt sich durch symptomatische Behandlung lediglich verzögern. Folgende Behandlungsmethoden stehen zur Verfügung: die psychosoziale Betreuung, die muskelkräftigende Physiotherapie, eine medikamentöse Therapie, wie z.B. mit Glukokortikoiden [6] und der Einsatz von Hilfsmitteln, wie Rollstuhl und apparative Beatmung [7].
Die Ansätze der molekularen Therapie können in den Myoblasten-Transfer, die Gentherapie und die induzierte zusätzliche Expression relevanter Proteine (Utrophin) eingeteilt werden. Der Myoblasten-Transfer bedeutet die Transplantation von normalen oder gentechnisch veränderten Myoblasten und wurde bisher an mdx-Mäusen getestet [8]. Hier treten Probleme mit der Immunsuppression auf. Die Gentherapie umfasst das Hinzufügen des Dystrophin-Gens sowie die Veränderung der Dystrophin-Expression und die Korrektur von Mutationen. Die Wiederherstellung der Dystrophin-Expression ist durch Übertragung der verkürzten Dys-

trophin-cDNA mittels viraler und nicht-viraler Vektoren möglich [9]. Eine Korrektur von Mutationen ist über Anwendung von Oligonukleotiden auf der Ebene des RNA-Processings möglich. Das antisense-vermittelte Exon-Skipping gehört dabei mit zu den viel versprechenden Ansätzen möglicher Gentheraphie-Strategien. Dies ist bereits in den Niederlanden am Menschen getestet worden [10]. Mit der Proteomanalyse erhoffen wir uns die Analyse von krankheitsrelevanten Proteinen, um neue Therapieansätze zu entwickeln. Mit einer gezielten Proteinbehandlung könnte das Voranschreiten der Erkrankung gestoppt werden.

Proteom

Der Begriff Proteom wird definiert als eine Gesamtheit aller Proteine eines Organismus, genauer die Gesamtheit aller zu einem bestimmten Zeitpunkt und unter bestimmten Bedingungen exprimierten Proteine [11]. Genome sind statische Baupläne, Proteome sind dagegen in Abhängigkeit vom aktuellen biologischen Zustand und den Umgebungseinflüssen in hohem Ausmaß dynamisch.
Die Information des Genoms wird von den Zellen interpretiert, indem jeweils zell- und funktionsspezifische Gene transkribiert werden. Die Transkripte werden in Proteome translatiert, die auch wieder spezifisch für Zell- und Funktionszustände verantwortlich sind. Die Translation wird durch viele Faktoren beeinflusst, wie die transkriptspezifische Rate der Proteinsynthese, den zum Teil sehr fein regulierten Abbau von Proteinen und durch posttranslationale Modifikationen (PTMs) von Proteinen [12]. Deswegen gibt es deutlich mehr Proteine als Gene in einem Organismus. Viele Proteine treten in mehreren Isoformen auf. Die Proteinzusammensetzung ist von Zelltyp zu Zelltyp unterschiedlich und hängt innerhalb eines Zelltyps vom Differenzierungs- und Alterungsstadium der Zellen, sowie auch vom Einfluss äußerer Faktoren, wie Temperatur und Ernährung ab [13].
Da die Proteomanalyse den tatsächlichen Zustand der Zelle wiedergibt, erhoffen wir uns durch die Proteomanalyse neue Ansätze zu finden, die es ermöglichen den Fortschritt der Krankheit anzuhalten oder zumindest nachhaltig zu verzögern.

Myoblasten

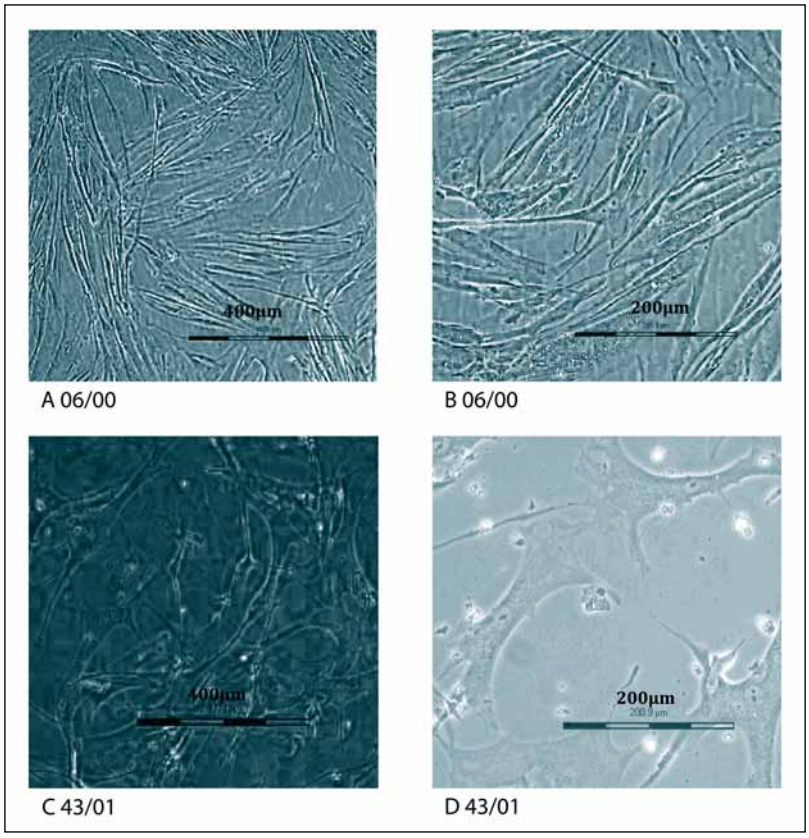


Abb. 1: Myoblasten mit 100% Konfluenz. A: Kontrolle (gesund) mit 100-facher Vergrößerung; B: Kontrolle (gesund) mit 200-facher Vergrößerung; C: DMD (krank 3-Monate Kind) mit 100-facher Vergrößerung; D: DMD (krank 3-Monate Kind) mit 200-facher Vergrößerung.

Um genug Proteinmaterial für die Proteomanalyse zu gewinnen, wurden Biopsien durchgeführt, danach Myoblasten isoliert, Zellkulturen angelegt und Zellen gezüchtet.
Die Myoblasten der DMD-Patienten haben im Vergleich zu denen der Kontrollgruppe eine deutlich reduzierte Stoffwechselaktivität und unterscheiden sich auch morphologisch von ihnen. Während sich die Myoblasten von DMD durch ein großes sternförmiges Cytoplasma auszeichnen, das Zellfortsätze bilden kann, sind die Myoblasten der Kontrollgruppe von schmaler, spindelförmiger Gestalt (Abb. 1). Die Populationsverdopplungszeit der Myoblasten der Kontrollgruppe liegt bei 4 bis 5 Tagen. Die Myoblasten von DMD zeigen ein wesentlich langsameres Wachstum. Ihre Populationsverdopplungszeit liegt durchschnittlich bei über 10 Tagen [5].

Ergebnisse

Es wurden Proteome von gesunden und DMD-kranken Zellen verglichen. Die Abb. 2 zeigt Unterschiede in der Proteinzusammensetzung. Es wurde eine differenzielle Proteinexpressionsanalyse durchgeführt, die einen Vergleich der gesunden und kranken Proteome unter gleichen Bedingungen bedeutet. Diese Methode wurde unter Anwendung von humanen Muskelzellen durchgeführt, die aus Muskelbiopsien von gesunden und kranken Personen stammen. Die Auftrennung der Muskelproteine mittels der 2D-Technik wurde erstmals für humane Muskelgewebe angewendet. Der Vergleich der Proteinzusammensetzung von gesunden und kranken Muskelzellen und schließlich die Analyse der unterschiedlichen Proteine mittels Massenspektrometrie führten zur Identifizierung von mehreren Proteinen, die über- oder unterexprimiert wurden und für die Therapie der Muskeldystrophie von sehr großer Bedeutung sind.

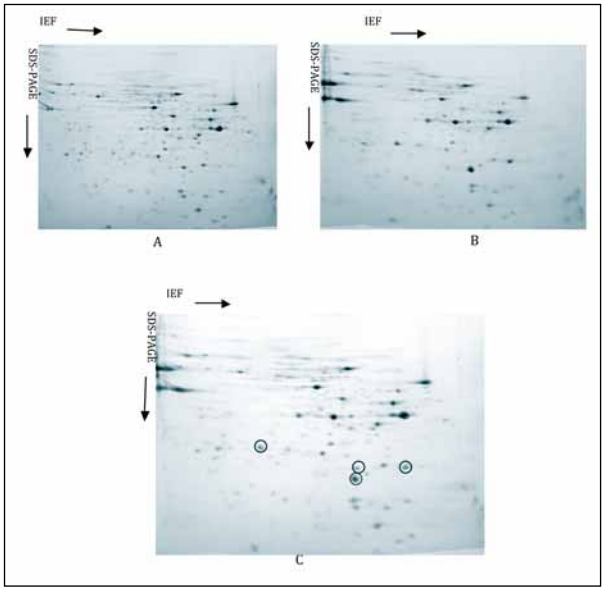


Abb.2: 2D-Gel-Auswertung der Vergleichsgruppe 2. A: Durchschnittsgel der Kontrolle; B: Durchschnittsgel der DMD; C: Vergleich von Gel A (orange) und Gel B (blau)

Das besonders auffällige Protein in der DMD-Probe, wurde als αB-Crystallin identifiziert. Das αB-Crystallin ist ein Chaperon, das in der Linse des vertebraten Auges sowie in Skelett- und Herzmuskeln, Lunge, Niere und Nervensystem exprimiert wird. Es gehört zu den Hitzeschockproteinen mit niedrigem Molekulargewicht (*small heat shock proteins*, sHSPs). sHSPs spielen eine Rolle in vielen unterschiedlichen zellularen Prozessen, wie Schutz gegen oxidativen Stress, in Zytoskelett¬proteindynamik, Zellwachstum, Zellproliferation und Differentierung. Eine andere wichtige Rolle von sHSPs ist ihre anti-apoptotische Funktion während der Differenzierung und Entwicklung, insbesondere durch das Hemmen der Prozessierung und der Aktivierung von Caspase und Freigabe des Cytochrom C. Die Expression von αB-Crystallin könnte durch oxidativen Stress verursacht werden. Oxidativer Stress oder zellschädigende Substanzen führen zu einer Anhäufung von Proteinaggregaten und können dadurch das Auftreten von Hitzeschockproteinen auslösen [14]. Die genaue Lokalisation des αB-Crystallin in den Signalwegen konnte bis jetzt noch nicht festgestellt werden.

Zusammenfassung

Die Proteomanalyse ist eine universelle Methode, um kranke und gesunde Organismen zu vergleichen und krankheitsrelevante Proteine zu finden. Es ist gelungen, Unterschiede in kranken und gesunden Muskelzellen zu finden. Die vorläufigen Ergebnisse müssen jedoch abgesichert werden, bevor Therapie-Experimente durchgeführt werden können. Geplant sind weitere Proteomanalysen, um mehrere unterschiedlich exprimierte Proteine zu finden. Es wird auch die Giganten-2D-Elektrophorese eingeführt, um eine bessere Auflösung der Muskelproteine zu bekommen.

Literatur

[1] Speer, A.; Oexle, K. (2002): Muskeldystrophien. Handbuch der Molekularen Medizin. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.

[2] Steinlin, M. (2004): Die progressiven Muskeldystrophien. Schweizerische Gesellschaft für Muskelkranke, Zürich.

[3] Emery, AE. (1993): Duchenne muscular dystrophy-Meryon‘s disease. Neuromuscul Disord. 3 (4): 263-266.

[4] Braun, RN et al. (2002): Pschyrembel Klinisches Wörterbuch, Walter de Gruyter, Berlin New York.

[5] Endesfelder, S. (2004): Untersuchungen zur Regulation von Proliferation und Differenzierung von Dystrophin-defizienten Muskelzellen mittels p21 antisense Oligonukleotiden: eine neue Strategie zur Therapie der Muskeldystrophie Duchenne. Doktorarbeit, Humboldt-Universität zu Berlin.

[6] Manzur, A.; Kuntzer, T.; Pike, M.; Swan, A. (2008): Glucocorticoid corticosteroids for Duchenne muscular dystrophy. Cochrane Database Syst Rev. 23; (1): CD003725.

[7] Scheuerbrandt; G (1998): First meeting of the Duchenne Parent Project in Europe: Treatment of Duchenne Muscular Dystrophy. 7-8 November 1997, Rotterdam, The Netherlands. Neuromuscul Disord. 8 (3-4): 213-219.

[8] Blau, HM.; Dhawan, J.; Pavlath, GK. (1993): Myoblasts in pattern formation and gene therapy. Trends Genet. 9 (8): 269-274.

[9] Dudley, RW.; Lu, Y.; Gilbert, R.; Matecki, S.; Nalbantoglu, J.; Petrof, BJ.; Karpati, G. (2004): Sustained improvement of muscle function one year after full-length dystrophin gene transfer into mdx mice by a gutted helper-dependent adenoviral vector. Hum Gene Ther. 15 (2): 145-156.

[10] Aartsma-Rus, A.; Janson, AA.; van Ommen, GJ.; van Deutekom, JC. (2007): Antisense-induced exon skipping for duplications in Duchenne muscular dystrophy BMC Med Genet. 8:43.

[11] Wasinger, VC.; Cordwell, SJ.; Cerpa-Poljak, A.; Yan, JX.; Gooley, AA.; Wilkins, MR.; Duncan, MW.; Harris, R.; Williams, KL.; Humphery-Smith, I. (1995): Progress with gene-product mapping of the Mollicutes. Mycoplasma genitalium Electrophoresis 16, S.1090-1094.

[12] Göttlicher, M. (2004): Protein modifications: fast und versatile switches in cellular signalling networks from the viewpoint of a toxicologist.

[13] Klose, J. (2003): Proteomanalyse. Humboldt-Universität zu Berlin.

[14] Horwitz, J. (2003): Alpha-crystallin. Exp Eye Res. 76(2):145- 153.

Kontakt

Prof. Dr. Roza Maria Kamp
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Str. 10
13353 Berlin
Tel: +49 30-4504 3923
E-Mail: kamp@beuth-hochschule.de

Kooperation

Prof. Dr. Astrid Speer
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Str. 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 3940
E-Mail: speer@beuth-hochschule.de

Proteome Factory AG
Dorotheestrasse 94
10117 Berlin

Einfluss eines erhöhten Kohlendioxidpartialdrucks auf die Ausbeute thermostabiler α-Amylase und Protease aus Bacillus caldolyticus

Dipl.-Ing. (FH) Martin Senz M. Sc., Prof. Dr.-Ing. Milan Popović
Forschungsschwerpunkt: Fermentationstechnik

Kurzfassung

In der vorliegenden Forschungsarbeit wurden die thermostabilen Enzyme α-Amylase und Protease aus *Bacillus caldolyticus* DSM 405 bei unterschiedlichen Fermentationsparametern produziert. Dabei wurde der Einfluss eines erhöhten Kohlendioxidpartialdrucks, bedingt durch Reduzierung der Belüftungsrate und Erhöhung des Reaktordrucks, untersucht. Durch Drosselung der Belüftungsrate auf 0,1 vvm und Einstellung des Betriebsdrucks auf 1000 mbar konnte die Ausbeute beider Enzyme um fast 40 % gegenüber einer Standardfermentation (1 vvm, atmosphärischer Druck) erhöht werden.

Abstract

The influence of an elevated carbon dioxide partial pressure, caused by pressurization and the reduction of the aeration rateduring the production of thermostable α-amylase and protease by Bacillus caldolyticus *DSM 405 is presented in this report. By reducing the airflow to 0.1 vvm and with an overpressure of* 1000 mbar*, the maximum concentrations of α-amylase and protease were nearly* 40 % *higher than during standard fermentation conditions (*1 vvm*, atmospheric pressure).*

Einleitung

Proteasen und Amylasen gehören zu den wirtschaftlich wichtigsten Enzymen und stellen ca. 30 % [Maa 02] der weltweiten Jahresproduktion dar. Der weltweite Marktwert beträgt ca. 500 Millionen Euro [Pos 04]. Amylasen bauen u.a. Stärke zu Dextrinen und Glucose ab, Proteasen spalten Proteine zu Peptiden und Aminosäuren. Für viele industrielle Bereiche sind diese Abbauschritte unter erhöhten Temperaturen von Relevanz, so dass ein Bedarf an thermostabilen Enzymen besteht. Thermostabile Amylasen werden bspw. in der Stärkeindustrie zur Stärkeverflüssigung bei 105°C angewandt [Maa 02]. Weiter finden beide Enzymklassen u.a. in der Waschmittel-, Lebensmittel-, Textil- und Papierindustrie ihren Einsatz.
Der hier verwendete, noch wenig untersuchte Bakterienstamm *Bacillus caldolyticus* (*B. caldolyticus*) DSM 405 ist ein Produzent thermostabiler α-Amylase und Protease und sekretiert diese in das Kulturmedium.
Bei der Kultivierung aerober Mikroorganismen ist gelöstes Kohlendioxid (CO_2) als Stoffwechselendprodukt in der Kulturbrühe allgegenwärtig. Hohe Konzentrationen an gelösten CO_2 können dabei, abhängig vom Mikroorganismus, inhibierend auf das Wachstum wirken [Ise 95]. Es gibt allerdings wenige Literaturquellen, die sich mit einem Zusammenhang an gelösten CO_2 und dessen Einfluß auf die Enzymsynthese des Organismus beschäftigen, wobei für *Bacillus subtilis* ein stimulierender Einfluß auf die α-Amylase-Synthese beschrieben ist. Ein in Untersuchungen gängiges Mittel für die Erhöhung des Kohlendioxidpartialdrucks (p_{CO2}) ist die Beimischung von CO_2-Gas zur Zuluft [Gan 75, Bäu 07]. Da die Realisierung einer Beimischung im großtechnischen Maßstab allerdings sehr teuer ist, sind alternative Verfahren wünschenswert. Um eine Anreicherung von CO_2 in der Fermentationsbrühe zu verhindern, ist die Erhöhung der Belüftungsrate ein adäquates Mittel. Verringert man dagegen die Belüftungsrate, so erhält man eine stoffwechselbedingte Anreicherung des CO_2 im Medium. Wird dabei noch zusätzlich der Reaktordruck erhöht, so kommt es neben einer zusätzlichen Steigerung der CO_2-Löslichkeit auch zu einer Erhöhung der O_2-Löslichkeit und somit zu einem erhöhten Sauerstoffangebot für den Primärstoffwechsel der Mikroorganismen. Durch diese unkonventionell kombinierte Prozeßführung wird bei verringerter Belüftungsrate eine natürliche Steigerung des p_{CO2} mit einer druckbedingten Erhöhung des Sauerstoffpartialdrucks (p_{O2}) erreicht.
In der folgenden Forschungsarbeit sollte diese Prozeßführung in Bezug auf die Synthese der thermostabilen extrazellulären Enzyme α-Amylase und Protease aus *B. caldolyticus* untersucht werden.

Material und Methoden

Für die Kultivierung von *B. caldolyticus* DSM 405 wurden Fermenter des Typs Biostat E und ED der Fa. Sartorius Stedim Biotech GmbH verwendet, wobei letzterer mit einer Druckregelvorrichtung ausgestattet ist. Das verwendete Medium enthielt pro Liter 8 g Pepton aus Casein, 0,05 g KH_2PO_4 x $2H_2O$, 0,25 g $MgSO_4$

x $7H_2O$, 0,03 g $FeSO_4$ x $7H_2O$, 0,00157 g $MnCl_2$ x $4H_2O$, 0,1 g $CaCl_2$ x $2H_2O$ und 1 g Zulkowsky-Stärke. Die Amylaseaktivität wurde mit einer modifizierten Methode nach Manning und Campbell [Man 61; Sen 08] mit Stärke als Substrat bestimmt und wird in Units pro mL (U/mL) angegeben. Die Proteaseaktivität wurde mit einer modifizierten Methode nach Strydom [Str 86; Sen 08] mit Azo-Casein als Substrat bestimmt und wird in U/mL angegeben. Das Zellwachstum wurde durch Messung der Optischen Dichte bei 600 nm verfolgt. Für die Messung des pH-Wertes, des Gelöstsauerstoffs und des Redoxpotentials wurden entsprechende Sonden (Mettler-Toledo GmbH, Giessen) verwendet. Die Berechnung der gelösten Kohlendioxidkonzentration (cCO_2,max) erfolgte über die Bilanzierung von O_2 und CO_2 aus der Fermenterabluft (Gasanalysator Sidor, Sick Maihack GmbH, Reute) über die Gl. 1 nach [Roy 91].

$$c_{CO2,\max} = \frac{\%CO_2^{out} \cdot (P - p_w)}{100 \cdot H_{CO2}} + \frac{1}{0{,}89} \cdot \frac{\%O_2^{out} \cdot (P - p_w)}{100 \cdot H_{O2}} \qquad \text{Gl. 1}$$

Wobei $\%CO_2^{out}$ und $\%O_2^{out}$ die jeweiligen Anzeigen der Abgasanalyse in %, P der Gesamtdruck in Pa, pW der Partialdruck des Wasserdampfes in Pa und HCO_2 sowie HO_2 die jeweiligen Henrykonstanten für O_2 und CO_2 in Pa*L*$mmol^{-1}$ sind.

Fermentiert wurde im Batch-Verfahren unter atmosphärischen Druck und mit einem Betriebsüberdruck von 1000 mbar (siehe Abb. 2). Weiter wurde mit einer Rührerdrehzahl von 500 rpm, einer Temperatur von 70°C und einem regulierten pH-Wert von 7,0 kultiviert. Detaillierte Versuchsbedingungen sind der Arbeit [Sen 08] zu entnehmen.

Ergebnisse und Diskussion

Bei der Versuchsreihe von insgesamt neun Fermentationen wurden sukzessiv aufeinander aufbauend der Fermenterdruck und die Belüftungsrate variiert. Der zeitliche Verlauf der erfolgreichsten Prozeßführung ist in Abb.1 dargestellt. Nach einer Fermentationszeit von 9,9 Std. wurde die maximale α-Amylaseaktivität von 17,0 U/mL erreicht und 20 min später wurden die Maxima der Proteaseaktivität von 26,2 U/mL, der Optischen Dichte von 8,4 als auch der Kohlendioxidkonzentration von 41,7 mg/L registriert.

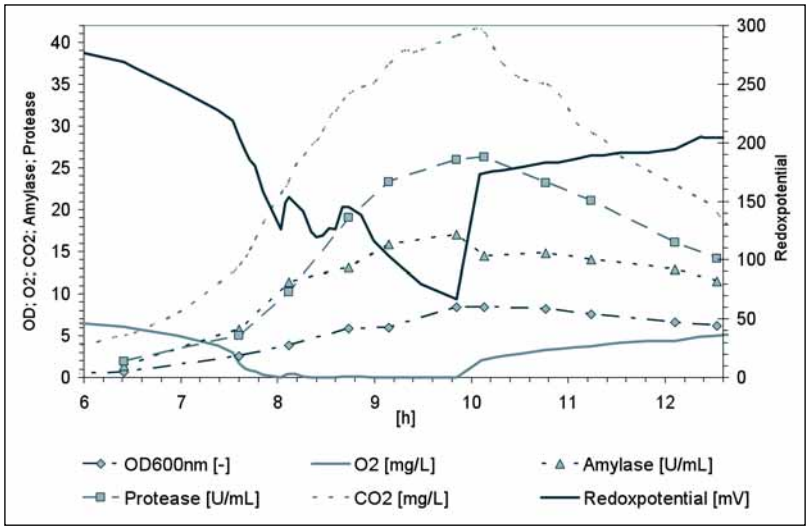


Abb. 1: Zeitlicher Verlauf der erfolgreichsten Batch-Fermentation von *B. caldolyticus* bei einem Überdruck von 1000 mbar und einer Belüftungsrate von 0,1 vvm (entspricht 0,77 Standardliter pro Minute).

In dem Zeitraum, in dem der Gelöstsauerstoff, trotz Überdruck, durch den Metabolismus der Bakterien verbraucht wurde und die Konzentration unter die Nachweisgrenze fiel (Abb.1, Std. 8,0–9,9), konnte eine weitere Änderung des Stoffwechsels durch Messung des Redoxpotentials registriert werden. Der sprunghafte Anstieg des Redoxpotentials zur Std. 9,9, dem eine anschließende Abnahme der Enzymaktivitäten folgt, dient dabei als Echtzeit-Signal für die Kulturernte.

Aus der zusammenfassenden Betrachtung der maximal erhaltenen Enzymaktivitäten (Abb.2) wurde ersichtlich, dass mit abnehmender Belüftungsrate bis 0,1 vvm (Volumen Gas pro Volumen Medium pro Minute) und erhöhtem Reaktordruck von 1000 mbar die α-Amylase- und Proteaseaktivitäten zunahmen. Erst eine zu starke Drosselung der Belüftungsrate auf 0,06 vvm führte zu einer Sauerstoffunterversorgung und einem herabgesetzten Metabolismus der Bakterien, woraus Einbußen des Wachstums und der Enzymaktivitäten (Abb.2, Fermentation 5) resultierten.

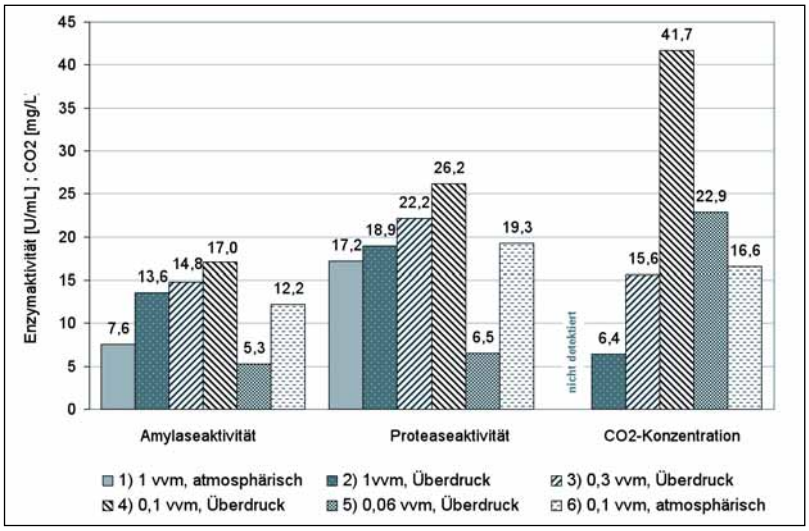


Abb. 2: Zusammenfassende Betrachtung der maximal erzielten Enzymaktivitäten bei unterschiedlichen Batch-Fermentationen von *B. caldolyticus*.

In der Abb.2 ist eine Gegenüberstellung von sechs aus insgesamt neun durchgeführten Fermentationen dargestellt. Bei dem Vergleich der Fermentationen unter gleichen Belüftungsraten, aber unterschiedlichen Reaktordrücken, z.B. Fermentationen 1) und 2) bzw. 4) und 6), lagen die ermittelten Aktivitäten der beiden Hydrolasen bei einem Überdruck von 1000 mbar deutlich über denen einer standardmäßigen atmosphärischen Betriebsweise. Die gesteigerten Enzymaktivitäten korrelierten mit jeweils erhöhten Mengen an gelöstem Kohlendioxid, was auf eine stimulierende Wirkung auf die Enzymsynthese hindeutet.

Zusammenfassung

Bei der erfolgreichsten Fermentationsführung von *B. caldolyticus* unter permanenten Überdruck von 1000 mbar und einer Belüftungsrate von 0,1 vvm konnte eine Steigerung von 39% und 36% der jeweiligen maximalen α-Amylase- und Proteaseaktivität gegenüber einer atmosphärischen Betriebsweise erzielt werden. Bei ausreichender Sauerstoffversorgung der Kultur besteht der Trend, dass mit zunehmender Konzentration an gelöstem Kohlendioxid die Aktivitäten der α-Amylase und Protease steigen. Dieser Trend ist unabhängig von der gemessenen Biomassekonzentration.

Schlussfolgernd kann gesagt werden, dass die Ausbeuten der extrazellulären Hydrolasen α-Amylase und Protease bei relativ geringen Belüftungsraten und insbesondere bei erhöhtem Druck gesteigert werden können.

Danksagung

Wir danken der Beuth Hochschule für Technik Berlin (ehemals TFH Berlin) und dem Europäischen Sozialfonds für die finanzielle Unterstützung von Herrn Dipl.-Ing. (FH) Martin Senz (M.Sc.) während des Forschungsassistenz IV Projekts.

Literatur

[Bäu 07] Bäumchen, C.; Knoll, A.; Husemann, B.; Seletzky, J.; Maier, B.; Dietrich, C. (2007): Effect of elevated dissolved carbon dioxide concentrations on growth of Corynebacterium glutamicum on D-glucose and L-lactate. J Biotechnol, 128, 868-874.

[Gan 75] Gandhi, A. P.; Kjaergaard, L. (1975): Effect of carbon dioxide on the formation of alpha-amylase by Bacillus subtilis growing in continuous and batch cultures. Biotechnol Bioeng, 17; 1109-1118.

[Ise 95] Isenschmid, A.; Marison, I. W.; von Stockar, U.(1995): The influence of pressure and temperature of compressed CO2 on the survival of yeast cells. J Biotechnol, 39, 229-237.

[Maa 02] van der Maarel, M. J.; van der Veen, B.; Uitdehaag, J. C.; Leemhuis, H.; Dijkhuizen, L. (2002): Properties and applications of starch-converting enzymes of the alpha-amylase family. J Biotechnol, 94, 137-155.

[Man 61] Manning, G.B.; Campbell, L.L. (1961): Thermostabile α-amylase of Bacillus stearothermophilus I. Crystallisation and some general properties; J Biol Chem, 236; 2952-2957.

[Pos 04] Positionspapier der DECHEMA e.V. (2004): November 2004, S. 47.

[Roy 91] Royce, P. N.; Thornhill, N. F. (1991): Estimation of dissolved carbon dioxide concentrations in aerobic fermentations; AIChE Journal, 37; 1680-1686.

[Sen 08] Senz, M. (2008): Fermentative Gewinnung von thermostabiler α-Amylase und Protease aus Bacillus caldolyticus; Masterarbeit, Technische Fachhochschule Berlin.

[Str 86] Strydom, E.; Mackie, R.I.; Woods, D. R. (1986): Detection and characterization of extracellular proteases in Butyrivibrio fibrisolvens H17c; Appl Microbiol Biotechnol, 24; 214-217.

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Milan Popović
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Str. 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 3924
E-Mail: popovic@beuth-hochschule.de

Measuring Interestingness of Association Rules with Educational Data

Prof. Dr. Agathe Merceron Forschungsschwerpunkt: Technologieunterstütztes Lernen

Kurzfassung

Assoziationsregeln gehören zum *Data Mining* Gebiet. Zwei Etappen sind nötig, um Assoziationen aus Daten zu extrahieren. In der zweiten Etappe werden uninteressante Assoziationen aussortiert. Etwa 20 Maße oder Funktionen sind für das Aussortieren vorgeschlagen worden. Sie produzieren verschiedene Ergebnisse. Wir haben unterschiedliche Funktionen untersucht und kommen zu dem Schluss, dass zwei Funktionen, Kosinus und *lift*, für Daten aus dem Bildungsbereich besonders gut geeignet sind.

Abstract

Association rules belong to the Data Mining field. Extracting associations from data is done in two steps. The second step prunes the associations obtained in the first step. About 20 objective interestingness measures have been proposed to perform the pruning step. These measures do not produce the same results. We have investigated a number of these measures and come to the conclusion that two measures, cosine and lift, are particularly well suited with educational data.

Introduction

Association rules [Tan 06] belong to the Data Mining field and have their origin in data bases. An association rule has the form $X \rightarrow Y$, where X and Y are two items from a given set. It means that if X occurs in a transaction, then Y is likely to occur too.
Association rules are increasingly used in educational data mining: They are use with tutoring systems to find mistakes that students often make together while solving exercises. Combined with other methods, they help to personalise students' recommendation while browsing the web. They are used to find various associations of student's behavior in learning management systems similar to Moodle. A survey can be found in [Rom 07].
Two measures, support and confidence, are commonly used to extract association rules. However it is well known that even rules with a strong support and confidence may in fact be uninteresting. This is why, once the association rule $X \rightarrow Y$ has been extracted, it is wise to double check how much X and Y are related. About 20 objective interestingness measures have been proposed in the literature to do so. Unfortunately, no measure is better than all the others in all situations, though measures tend to agree when support is high [Tan 06].
We have investigated a number of these measures and present our conclusion in this contribution: two measures, cosine and lift, are particularly well suited with educational data mainly because their interpretation is fairly intuitive.

Association rules, cosine and lift

Let $I = \{I_1, , I_2, ...,I_m\}$ be a set of m items and $T = \{t_1, , t_2, ...,t_n\}$ be a set of n transactions, with each t_i being a subset of I. An association rule is a rule of the form $X \rightarrow Y$, where X and Y are disjoint subsets of I having a support and a confidence above a minimum threshold.

Let us denote by $|X|$ the number of transactions that contain X, by $|Y|$ the number of transactions that contain Y and by $|X, Y|$ the number of transactions that contain both X and Y.

Support: $sup(X \rightarrow Y) = |X , Y| / n$. In other words, the support of a rule $X \rightarrow Y$ is the proportion of transactions that contain both X and Y. This is also called $P(X, Y)$, the probability that a transaction contains both X and Y. Note that support is symmetric: $sup(X \rightarrow Y) = sup(Y \rightarrow X)$.

Confidence: $conf(X \rightarrow Y) = |X, Y| / |X|$. In other words, the confidence of a rule $X \rightarrow Y$ is the proportion of transactions that contain both X and Y among those that contain X. An equivalent definition is: $conf(X \rightarrow Y) = P(X, Y) / P(X)$, with $P(X) = |X| / n$, or equivalently, $P(Y|X)$, the probability that a transaction contains Y knowing that it contains X already. Usually $conf(X \rightarrow Y)$ is different from $conf(Y \rightarrow X)$ and gives its direction to a rule.

Once rules are extracted, the next step consists in picking out meaningful rules and discarding others. To see that this prune step is necessary, consider a set of 5000 transactions and three different probabilities for X,

Y and X,Y as shown below. Support and confidence are the same though the probability of Y has changed dramatically.

$|X, Y| = 1000, |X| = 1000$ and $|Y| = 2500$: $sup(X \rightarrow Y) = 20\%$ and $conf(X \rightarrow Y) = 100\%$.

$|X, Y| = 1000, |X| = 1000$ and $|Y| = 5000$: $sup(X \rightarrow Y) = 20\%$ and $conf(X \rightarrow Y) = 100\%$.

The interestingness measure *cosine* comes from geometry. When the angle between two vectors x and y nears 0°, then cosine nears 1, i.e. the two vectors are very similar: all their coordinates are pairwise the same (or proportional). It is easy to associate two vectors x and y of length n to the rule $X \rightarrow Y$: coordinate i of vector x is 1 exactly if transaction ti contains item X, and similarly for y. It can be shown that $cosine(X \rightarrow Y) = |X, Y| / sqrt(|X| |Y|)$. The calculation of typical values shows that a rule is interesting if $cosine(X \rightarrow Y)$ is at least 0.66 [Mer 09]. The total number of transactions n does not impact on the result, this is known as the null-invariant property. This property is particularly interesting when items are not symmetric: the presence of item X is more important than its absence. A cosine value higher than 0.66 tells us that more than 50% of all transactions containing X or Y contains both X and Y. A value of 1 says that all transactions containing X or Y actually contain both.

The interestingness measure lift has its roots in probability: $lift(X \rightarrow Y) = P(X, Y) / P(X)P(Y)$. It simplifies to: $n |X, Y| / |X| |Y|$. Lift is a symmetric measure and can be seen as a compact means that summarizes another non-symmetric measure Added Value. *Added Value* of the rule $X \rightarrow Y$, denoted by $AV(X \rightarrow Y)$, measures whether the proportion of transactions containing Y among the transactions containing X is greater than the proportion of transactions containing Y among all transactions. It is defined as $AV(X \rightarrow Y) = P(Y|X) - P(Y)$. Similarly $AV(Y \rightarrow X) = P(X|Y) - P(X)$. It easy to see that $AV(X \rightarrow Y)$, $AV(Y \rightarrow X)$ and $lift(X \rightarrow Y)$ are mathematically related [Mer 09]. Thus a lift bigger than 1 says that the probability of Y occurring with X is higher than the mere probability of Y and also that the probability of X occurring with Y is higher than the mere probability of X. As a consequence, a rule is interesting if lift is bigger than 1.
If association rules are rated as interesting both by lift and cosine, they should not be pruned.

Application

As an application let us consider association rules obtained from data stored in a Learning Management System (LMS) like Moodle. Consider the case of a face-to-face course for which a LMS is used for posting lecture slides and extra resources like:
TrEx01 and *TrEx02* : two sample exams,
TrEx01S and *TrEx02S*, the sample exams with solutions posted after the sample exams, and
Script01, *Script02*, *Script03*, *Script04*: four supplementary scripts.

A preliminary data exploration gives hints for the items to consider while mining associations [Mer 08]. Tab. 1 shows that if students view the solution of a sample exam, they view also the sample exam itself. Further, if they view the second exam, then they also view the first one. The other way round does also hold, but with a slightly lower confidence, which is pedagogically interesting: there is a number of students who view a sample exam, but not the sample exam with solution. Note that cosine and lift are coherent: they both rate these associations as interesting.

rule	sup.	conf.	cos.	lift
TrEx01S → TrEx01	0.59	0.92	0.87	1.27
TrEx01 → TrEx01S	0.59	0.81	0.87	1.27
TrEx02S → TrEx02	0.56	0.96	0.90	1.46
TrEx02 → TrEx02S	0.56	0.85	0.90	1.46
TrEx02 → TrEx01	0.64	0.98	0.93	1.35
TrEx01 → TrEx02	0.64	0.88	0.93	1.35

Tab. 1: Associations between sample exams

Looking at associations between viewing the scripts gives different results. In Tab. 2 rule seems to tell that if students view the first three scripts, they also view the fourth one (confidence 1).

Script01, Script02, Script03 → *Script04*	0.12	1	0.51	2.08

Tab. 2: Associations between scripts

This rule is poorly rated by cosine but highly rated by lift. Cosine tells us that among students who have viewed *Script01, Script02, Script03* or *Script04* less than 40% have viewed all four scripts. The high value for lift comes only from the factor n, the total number of students, that includes students who have not viewed any script at all. Because we are interested in students who view scripts, this rule can be pruned.

Conclusion

Cosine and lift are to objective measures particularly well suited to prune associations rules obtained while mining educational data. Unlike other objective measures, their interpretation remains intuitive. If items are not symmetric in the sense that their presence is more important than their absence, cosine is to be preferred.

Literature

[Mer 08] Merceron, Agathe; Yacef, Kalina (2008): Interestingness Measures for Association Rules in Educational Data. In: Proceedings of the first International Conference on Educational Data Mining (EDM'08), de Baker, Ryan; Barnes Tiffany; Beck, Joseph E. (Eds.). pp. 57-66. Montreal, Canada. Retrieved January 21, 2009, from http://www.educationaldatamining.org/EDM2008/ [Stand: 21.09.2009].

[Mer 09] Merceron, Agathe (2009): Strong Symmetric Association Rules and Interestingness measures. Book chapter. In: Rare Association Rule Mining and Knowledge Discovery. Koh, Yun Sing; Rountree, Nathan (Eds). Advances in Data Warehousing and Mining Book Series. To appear.

[Rom 07] Romero, Cristobal; Ventura, Sebastian (2007): Educational Data Mining: A Survey from 1995 to 2005. In Expert Systems with Applications, 33(1), 135-146.

[Tan 06] Tan Pang-Ning; Steinbach Michael; Kumar Vipin (2006): Introduction to Data Mining. Addison-Wesley.

Contact

Prof. Dr. Agathe Merceron
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Str. 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 2066
E-Mail: merceron@beuth-berlin.de

Datenbankbasierte Dokumentation des Schädlingsbefalls von Bäumen mit georeferenzierten Bildern

Prof. Dr. Petra Sauer, Dipl.-Inf. (FH) Steffen Heuschkel
Forschungsschwerpunkte: Multimediale Datenbanken, Geodatenbanken, XML-Datenbanken

Kurzfassung
Seit Jahren existieren Anwendungen mit Geodaten. Sie werden für die Identifizierung von Objekten genutzt und ermöglichen die Visualisierung von statistischem Material. Um Geodaten zu verarbeiten und integriert mit Sachdaten zu speichern, kann auf Erweiterungen im Bereich der Datenbanksysteme zurückgegriffen werden. Im Beitrag wird eine Lösung vorgestellt, die Geodaten zur Verknüpfung von Bild- mit Sachdaten benutzt. Die Entwicklungsarbeit wurde durch EFRE im Forschungsprojekt BAER gefördert.

Abstract
Applications with geographical data have already existed for years. They will be used for identification of objects and allow visualisation of statistic material. To process geographical data and store them integrated with technical data, extensions of database systems can be used. This article presents a solution of how to connect image and technical data with the aid of geographical informations. The development work was aided by EFRE in the scientific research project BAER.

Einleitung

Während noch vor wenigen Jahren die Verwaltung von Geodaten ausschließlich über proprietäre Formate der Geografischen Informationssysteme (GIS) erfolgte, gewinnen gegenwärtig Erweiterungen von objektrelationalen Datenbankmanagementsystemen (DBMS) um Geodatentypen an Bedeutung. Geodatenbasierte Applikationen können flexibel durch Datenbank- und Applikationsentwickler erzeugt werden. Durch die integrierte Verwaltung von Sach- und Geodaten sind neue Anwendungsbereiche denkbar. Verschiedene Visualisierungen der Verteilungshäufigkeit von Sachdatenwerten können beispielsweise über geografisches Kartenmaterial von höherer Aussagekraft sein, als durch konventionelle Diagrammtechniken. Durch die Zuordnung von Geodaten zu Sachdaten, die unterschiedlichste Objekte beschreiben, ist deren Lokalisierung und Identifizierung einfach umsetzbar. Die jeweiligen Objekte können über die zugeordneten Geodaten eindeutig verknüpft werden. Künstliche Identifizierungssysteme wie etwa Nummerierungen von Bäumen, Parkbänken, Fotos etc. sind nicht mehr zwingend notwendig.

Georeferenzierte Bilddaten
Der hier vorgestellte Anwendungsfall greift die Idee der Benutzung von Geodaten zur Verknüpfung von Objekten auf, die die gleiche oder ähnliche geografische Position haben: Im Rahmen der Entwicklung verschiedener prototypischer Tools zur Pflanzenbestandsüberwachung eines zoologischen Gartens, wie beispielsweise Baumkataster- und Grünflächenmanagementanwendungen, werden von Pflanzen Sach- und Bilddaten in einer Datenbank gespeichert. Dies betrifft beispielsweise Fotos zur Dokumentation des Schädlings- und Pilzbefalls von Bäumen. Zur integrierten Verarbeitung müssen die Bilddaten mit den Sachdaten verknüpft werden.
Die bisherige Zuordnung ist stark durch manuelle Tätigkeiten geprägt: während des Fotografierens werden Bild- und Baumnummer auf einer separaten Liste mitgeführt. Diese Liste wird später auf die Datenstrukturen der Datenbank abgebildet. Auf Basis der Identifikationsnummern erfolgt die Verknüpfung der Daten (Abb. 1).

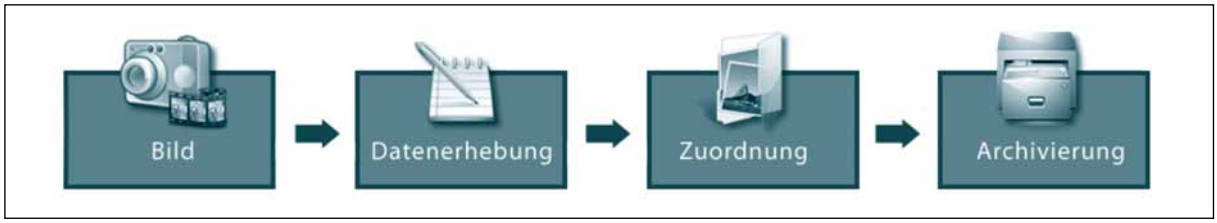


Abb. 1: Ist-Zustand der Bilddokumentation

Dies ist mit einem teilweise hohen Aufwand verbunden, da durchaus größere Mengen an Bildern entstehen. Die Fehleranfälligkeit ist hoch und die Verifizierung umfangreich. Bilddokumentationen müssen kontinuierlich erfolgen, d.h., es handelt sich um eine immer wiederkehrende Tätigkeit, die regelmäßig Kosten verursacht.
Die entwickelte Anwendung nutzt die Erfassung geografischer Koordinaten über das Global Positioning System (GPS) während des Fotografierens. Die mit den Bildern gespeicherten GPS-Koordinaten werden beim Bildimport in die Datenbank ausgelesen. Baum und Bild können über ihre Geodaten automatisch einander zugeordnet werden.
Durch die Umstellung von der ausgangs manuellen, fehleranfälligen und aufwändigen Zuordnung werden enorme Einsparungspotenziale erzielt.

Charakteristika des Anwendungsfalls

Die zu verknüpfenden Objekte sind Bäume und Bilder, die jeweils über eigene Geodaten verfügen:

- ein Baum hat einen geografischen Standort, der durch seine GPS-Koordinaten repräsentiert und in einem Baumkataster hinterlegt wird,
- ein Bild enthält als Metadatenbestandteil die geografische Position seiner Aufnahme. Die Bildaufnahme muss dazu über eine Kamera erfolgen, die mit einem GPS-Empfänger ausgestattet ist.

Über den Vergleich der Geodaten von Bäumen und Bildern kann eine Zuordnung dieser Objekte zueinander erfolgen:

- Die Zuordnung der Bilder zu den Bäumen, die sie abbilden, erfolgt quasi direkt, wenn die Geodaten von Bild und Baum unter Einbeziehung von Toleranzwerten gleich sind.
- Die Zuordnung der Bilder zu den Bäumen erfolgt über eine Auswahlliste, indem über eine Umkreissuche die relevanten Bäume ermittelt und mit ihren Sachdaten dargestellt werden. Die Auswahl wird iterativ eingegrenzt, dies kann bottom-up und top-down erfolgen. Es können beispielsweise zunächst die Bäume im unmittelbaren Umkreis der Koordinaten der Bilddaten abgefragt werden. Je nach Trefferquote wird der Radius erweitert. Bei geringerem Bewuchs kann auch zunächst mit der Auswahl der relevanten Bäume im Bereich von $100\ \mathrm{m}$ begonnen werden und stufenweise eine Erhöhung der Genauigkeit auf bis zu $4\ \mathrm{m}$ erfolgen. Höhere Genauigkeiten sind mit klassischem GPS nur eingeschränkt möglich ([Koc 08], S. 179-183).

Verwendete Technologien

Die Realisierung der Anwendung erfolgt mit Hilfe des DBMS Oracle unter Nutzung von objektrelationalen Erweiterungen im Bereich der Geo-, XML- und Multimediadaten. Als Objekttypen werden genutzt:

- ORDImage für die Verwaltung von Bildern in der Datenbank,
- SDO_GEOMETRY für die Verwaltung von Geodaten und
- XMLType für die Verwaltung von XML-Daten.

Der zugrunde liegende Datenbestand wurde im Rahmen des EFRE-geförderten Forschungsprojektes BAER entwickelt und umfasst große Teile des Tier-, Baum- und Infrastrukturdatenbestandes des Zoologischen Gartens Berlin.

Lösungsansatz

Vorgehensmodell

Für die automatisierte, geodatenbasierte Zuordnung von Bildern zu Sachdaten von Bäumen wurde das in Abb. 2 wiedergegebene Vorgehensmodell entwickelt. Es enthält die folgenden Schritte:

- Zunächst werden die Bilder mit einem fotografiefähigen Gerät mit GPS-Empfänger erstellt und mit ihren Metadaten als Objekte in der Datenbank gespeichert.
- Die Metadaten werden von den Bilddaten separiert und als XML-Daten in der Datenbank gespeichert.
- Innerhalb der XML-Daten werden die Geodaten lokalisiert, aus den XML-Daten extrahiert und separat gespeichert.
- Mit den Geodaten sind räumliche Anfragen möglich, über die die Zuordnung von Bild und Baum erfolgen kann.

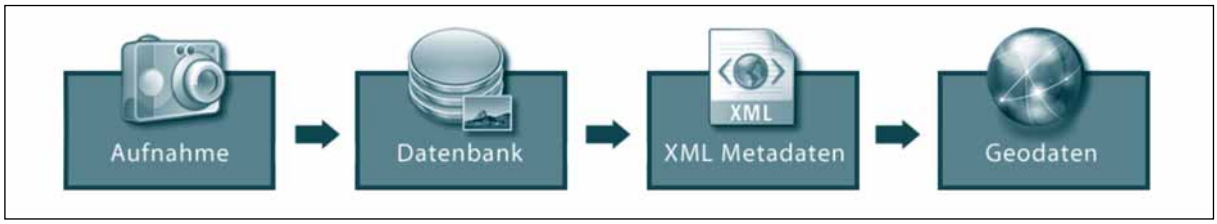


Abb. 2: Vorgehensmodell der geodatenbasierten Sach-Bilddaten-Zuordnung

Speicherung der Metadaten

Die Speicherung von Bildern wird über den Oracle-Objekttyp ORDImage vorgenommen. Dieser enthält neben den binären Bilddaten auch die Breite, Höhe, das Kompressionsformat sowie weitere Metadaten. Ein sehr häufig verwendetes Metadatenformat für Bilder ist das Exif-Format. Es wird von fast jedem Kamerahersteller sowie auch von Oracle unterstützt. Für die Abbildung der Exif-Elemente auf XML-Strukturen stellt Oracle ein XML-Schema-Dokument bereit, welches die Datenstrukturen des Exif-Standards vollständig abbildet. Bei der Speicherung der Exif-Daten wird über das Schema-Dokument die Korrektheit geprüft, so dass nur valide Metadaten abgelegt werden können.

Extrahieren der Metadaten des Bildes

Über die Funktionen des Objekttyps ORDImage kann auf die Metadaten zugegriffen werden ([DuGu 06], S.263ff.). Sie werden über eine gespeicherte Prozedur extrahiert. Die Objektmethode getMetaData(‚EXIF‘) liefert die Exif-Metadaten im XML-Format. Diese werden unter Nutzung des Objekttyps XMLType gespeichert. Das Extrahieren kann auch transparent über einen Trigger erfolgen, der nach dem Einfügen eines Datensatzes die dazugehörigen Metadaten ausliest und mit diesen Werten die XMLType-Spalte aktualisiert.

Extrahieren der GPS-Koordinaten aus den Metadaten

Aus den als XMLType gespeicherten Metadaten werden mit den beiden Elementen Längen- und Breitengrad die geografischen Koordinaten lokalisiert und extrahiert. Für Anfragen auf XMLType-Daten können sowohl die Anfragesprachen XQuery als auch XPath eingesetzt werden. Im folgenden Listing wird über die in SQL-integrierte Funktion extractValue() eine XPath-Anfrage nach dem Längen- und Breitengrad realisiert:

```
UPDATE gps_images p SET p.coordinate =
  MDSYS.SDO_GEOMETRY(2001, 8307,
    SDO_POINT_TYPE(
      extractValue(p.metaexif, ,//GpsIfd/GPSLongitude/text()‘),
      extractValue(p.metaexif, ,//GpsIfd/GPSLatitude/text()‘),
      NULL),
    NULL, NULL)
  WHERE id = 1;
```

Die extrahierten GPS-Daten werden als Objekt des Typs SDO_GEOMETRY gespeichert, um dessen Funktionalität nutzen zu können.

Erstellung von räumlichen Anfragen

Mit dem Geometrieobjekt können räumliche Anfragen erfolgen. Räumliche Anfragefunktionen wie SDO_NN zur Umkreissuche oder SDO_JOIN zur Verknüpfung nutzen als Parameter die Geometriespalte, auf der gesucht wird, und die Anfragegeometrie. Die Geometriespalte muss räumlich indexiert sein [Bri 05], S.143f.. Über räumliche Anfragen ist sowohl eine quasi direkte Zuordnung über den räumlichen Join-Operator als auch eine indirekte Zuordnung über Umkreissuche möglich. Die folgenden Beispielanfragen zeigen diese Möglichkeiten:

- Über die Umkreissuche werden alle Bilder angefragt, die sich im Umkreis von 500 m befinden:
  ```
  SELECT t.id, t.geom.GET_WKT() AS geom, SDO_NN_DISTANCE(1) AS distance_
  in_m  FROM tbl t WHERE SDO_NN(t.geom, SDO_GEOMETRY(,POINT(13 52)‘,
  8307), ,unit=m‘,500) = ,TRUE‘;
  ```
- Über den geodatenbasierten Join-Operator werden Bilder und Bäume verknüpft, die die gleichen geografischen Koordinaten aufweisen:
  ```
  SELECT t.id, p.id
  FROM TABLE(SDO_JOIN(,gps_images‘, ,coordinate‘, ,tree‘,
  ```

```
,position‘,‘mask=equal‘)) result, gps_images p, tree t WHERE p.rowid =
result.rowid1 AND t.rowid = result.rowid2;
```

Die Zuordnung von Bildern zu Sachdaten von Bäumen ist damit weitgehend automatisiert umgesetzt. Der Aufwand der Zuordnung und Fehlerquellen sind enorm reduziert.

Fazit

Im Beitrag wurde gezeigt, dass es relativ einfach ist, Bilder als Objekte in der Datenbank abzulegen, die GPS-Koordinaten aus den Exif-Metadaten als separate Geodaten über den Oracle Objekttyp SDO_GEOMETRY zu speichern und darauf räumliche Anfragen umzusetzen. Die räumlichen Anfragefunktionen ermöglichen – neben den gezeigten – eine Vielzahl weiterer Anwendungsgebiete, beispielsweise die Visualisierung sehr stark befallener Regionen eines definierten Untersuchungsgebietes sowie die Korrelation mit weiteren Einflussgrößen wie Bewuchsdichte, Alter des Baumes etc.
Leider existieren zurzeit nicht viele fotografiefähige Geräte (Kamera, Handy, PDA etc.), die einen integrierten GPS-Empfänger besitzen und den Exif-Standard einhalten, so dass die verwendbare Hardware stark eingegrenzt werden muss.

Literatur

[Bri 05] Brinkhoff, Thomas (2005): Geodatenbanksysteme in Theorie und Praxis, Herbert Wichmann Verlag Heidelberg.

[DuG 06] Dunckley, Lynne; Guros, Larry (2006): Oracle 10g Developing Media Rich Applications, Elsevier Ltd. Oxford.

[Koc 08] Koch, Thomas (2008): Verwaltung von Geodaten in Oracle, VDM Verlag Saarbrücken.

Kontakt

Prof. Dr. Petra Sauer
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Strasse 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 2691
E-Mail: sauer@beuth-hochschule.de

Modellierung und Analyse des Kohlenstoffmetabolismus in Pflanzen auf der Grundlage der Petrinetztheorie

Prof. Dr. rer. nat. Ina Koch Forschungsschwerpunkt: Bioinformatik, Systembiologie

Kurzfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Petrinetzmodell zum Kohlenstoffmetabolismus in *Solanum lycopersicum* (Tomatenpflanzen) erstellt, wobei die Kompartimentierung berücksichtigt wurde. Mit diesem Modell konnten aktuelle Forschungsergebnisse, welche zeigen, dass der Citratzyklus mit dem Saccharosesyntheseweg konkurriert, bestätigt werden. Außerdem wurden Tomatenpflanzen untersucht, die eine verminderte Aktivität der mitochondrialen Malatdehydrogenase aufweisen und dennoch lebensfähig sind. Das Modell bestätigt weiterhin experimentell in der Forschungspraxis nachgewiesene alternative Stoffwechselwege, die als Bypassreaktionen bekannt sind.

Abstract

In this work, a Petri net model of carbon metabolism in tomato plants has been developed under consideration of its compartments. Based on this model, recent research resultswhich show that the citrate cycle competes with the sucrose synthesis pathway have been confirmed. Moreover, tomato plants were considered which exhibit a reduced activity of mitochondrial malate dehydrogenase, but are still viable. Furthermore, the model confirms experimentally detected alternative pathways known as bypass reactions.

Einleitung

Die meisten grundlegenden Stoffwechselwege in Zellen sind bekannt, jedoch das Wissen über ihre Funktion und Organisation weist teilweise große Lücken auf. Zum besseren Verständnis von Stoffwechselvorgängen bietet sich deren Modellierung mittels eines mathematischen Formalismus an. Ein auf experimentellen Daten basierendes mathematisches Modell lässt sich analysieren und animieren, und kann somit auf wirtschaftliche und gefahrlose Art, Aussagen zum Verlauf der Stoffwechselwege und Änderungen in deren Parametern geben. Zur Veranschaulichung der Stoffwechselprozesse eignen sich Petrinetze. Sie ermöglichen die formale Darstellung von diskreten Ereignissen, bei denen diskrete Objekte verbraucht oder erzeugt werden. Im Stoffwechsel überwiegen die Kohlenstoffverbindungen an Menge und Bedeutung, da sie die Grundlage aller organischen Verbindungen bilden. Eine Reaktionsgleichung enthält Objekte, die Metabolite, die durch das Ereignis der Reaktion in andere Objekte umgewandelt werden. Die mathematische Struktur der Petrinetze bietet außerdem den Vorteil der Validierung des Modells durch die Untersuchung statischer und dynamischer Systemeigenschaften. Zudem ist eine übersichtliche Darstellung der Reaktionswege mittels eines Petrinetzes möglich. Für eine Einführung zu Anwendungen von Petrinetzen in der Biologie siehe [Koc 08].
Zahlreiche biologische Systeme wurden bereits in unserer Gruppe modelliert und analysiert, meistens in enger Kooperation mit experimentell arbeitenden Wissenschaftlern, siehe [Koc 99], [Koc 00], [Vos 03], [Koc 04], [Run 04], [Pop 05], [Her 06], [Sac 06], [Sac 07], [Gru 08], [Kie 09].
In dieser Arbeit werden die wichtigen biochemischen Zyklen des Kohlenstoffmetabolismus in einem Petrinetz dargestellt. Mit dem erstellten und validierten Petrinetz wird eine Analyse durchgeführt, die u. a. die Auswirkungen der Enzyme des Citratzyklus auf den Kohlenstoffmetabolismus testet.

Das theoretische Modell mit grundlegenden Eigenschaften

Das Petrinetz enthält 68 Plätze, die Metabolite repräsentieren, und 103 Transitionen, die stöchiometrische chemische Reaktionen darstellen.
Neben der Berechnung statischer Netzeigenschaften stellt die Invariantenanalyse eine wichtige Methode dar, um die Dynamik von Netzwerken zu charakterisieren und Netzwerke auf ihre Konsistenz hin zu prüfen. Dabei beschreiben P-Invarianten Stofferhaltungsrelationen, während durch T-Invarianten grundlegende Stoffwechselwege interpretiert werden.
Die Analyse unseres Netzwerks ergibt eine P-Invariante und 7751 T-Invarianten, mit denen das Netz überdeckt ist, d.h., dass jede Reaktion Teil mindestens einer T-Invarianten ist. Die eine P-Invariante beinhaltet die Plätze der Metabolite *Coenzym A, Acetyl-Coenzym A* und *Succinyl-Coenzym A*.
Die große Menge von T-Invarianten kann nach den beteiligten Reaktionen in die folgenden beiden Kategorien unterteilt werden:

- innere Zyklen mit 28 Instanzen und
- IO (InputOutput)-Invarianten mit 7723 Instanzen.

Bei deren genauer Analyse ergeben sich mehrere Bypass-Wege. Ein Beispiel sind die Reaktionen, welche die jeweils andere Reaktionsrichtung katalysieren. So wird aus *Fructose-1,6-bisphosphat Fructose-6-phosphat* gebildet. Beide Reaktionen sind unabhängig von Adeninnukleotiden und sind jeweils in 288 T-Invarianten enthalten. Durch diese Untersuchungen lassen sich die Enzyme in *wichtige* und *unwichtige* Enzyme bezüglich eines spezifischen Netzwerkverhaltens klassifizieren.

Knockout-Analyse

Von den vielen durchgeführten Analysen sei beispielgebend die Knockout-Analyse angegeben. Hierbei werden in dem Petrinetz-Modell entweder Plätze oder Transitionen mit ihren benachbarten Kanten entfernt. Danach wird erneut eine Analyse, meistens eine Invariantenanalyse durchgeführt, die durch Clusteranalysen unterstützt wird.
Das gezielte Ausschalten (Knockout) einzelner Enzyme des Stoffwechsels wird meistens experimentell durchgeführt. Die Auswirkungen solcher Knockouts geben detaillierte Informationen über die Bedeutung einzelner Enzyme und ihrer Wechselwirkungen. Mit einem theoretischen Modell lassen sich, ohne Tierversuche und zu geringen Kosten, die Auswirkungen eines Knockouts simulieren und analysieren. Dazu werden die jeweiligen Transitionen im Petrinetz einzeln gelöscht und die dadurch entstehenden Netze analysiert. Es kann nicht nur gezeigt werden, zu wie viel Prozent das Netzwerk weiterhin funktioniert, sondern auch genau, welche Teile des Netzwerks betroffen sind.
Als Beispiel sei das Ausschalten der Aconitase genannt, ein Enzym des Citratzyklus. Nach dem Knockout sind nur noch 431 T-Invarianten, die das Netz nicht mehr überdecken, vorhanden. Um dies genauer zu untersuchen, werden sie in Cluster zerlegt. Dadurch lassen sich die genauen Funktionen, die nicht mehr aktiv bzw. noch aktiv sind, bestimmen.

Zusammenfassung

Die Verwendung mathematischer Modelle erhöht die Möglichkeiten von Analysen biochemischer Vorgänge. Einen solchen mathematischen Formalismus stellt die Petrinetztheorie dar.

Durch die Darstellung der benötigten Stoffwechselvorgänge im Petrinetz konnten Experimente nachgestellt werden, bei welchen die Enzyme des Citratzyklus einzeln ausgeschaltet werden. Die Analyse und ein Akkumulierungstest bestätigten die bereits von den Forschern angestellte Vermutung, dass der Citratzyklus mit dem Saccharosesyntheseweg konkurriert.

Literatur

[Gra 06a] Grafahrend-Belau, Eva (2006): Klassifizierung von T-Invarianten in biochemischen Petrinetzen auf der Grundlage verschiedener Clusteranalyseverfahren, Masterarbeit an der TFH Berlin.

[Gra 06b] Grafahrend-Belau, Eva et al. (2008): Modularization of biochemical networks based on classification of Petri net t-invariants BMC Bioinformatics 9:90.

[Gru 08] Grunwald, Stefanie et al. (2008): Petri net modelling of gene regulation of the Duchenne muscular dystrophy BioSystems 92: 189-205.

[Hei 01] Heiner, Monika et al. (2001): Analysis and Simulation of Steady States in Metabolic Pathways with Petri Nets. CPN'01-Third Workshop on CPN, Uni. of Aarhus, Denmark, ed.K. Jensen, pp.15-34.

[Hei 04] Heiner, Monika et al. (2004): Model Validation of Biological Pathways Using Petri Nets – Demonstrated for Apoptosis. BioSystems, 75(1-3):15-28.

[Her 06] Herrmann, Ilka (2006) Modellierung und Analyse des Kohlenstoffmetabolismus in Pflanzen auf der Grundlage der Petrinetztheorie, Masterarbeit an der TFH Berlin.

[Kie 06] Kielbassa, Janice (2006): Analyse des humanen U1 snRNP-Reifungsprozesses mit Hilfe eines Petrinetzmodells, Diplomarbeit an der FSU Jena.

[Kie 09] Kielbassa, Janice et al. (2009): Modeling of the U1 snRNP assembly pathway in alternative splicing in human cells using Petri nets Computational Biology and Chemistry 33:46-61.

[Koc 99] Koch, Ina et al. (1999): Simulation and analysis of metabolic networks by time-dependent Petri nets. Computer Science and Biology – Proc.Germ.Conf. Bioinformatics, pp.208-210.

[Koc 00] Koch, Ina et al. (2000): Using time-dependent Petri nets for the analysis of metabolic networks. „Modellierung und Simulation Metabolischer Netzwerke, eds. R. Hofestädt, K. Lautenbach, M. Lange, Preprint No.10, Faculty Comp.Sci., Uni. of Magdeburg pp.15-21.

[Koc 04] Koch, Ina et al. (2004): A Software Tool for Petri Net based based Analysis in Biochemical Networks. In Silico Biology 5, 0014.

[Koc 05] Koch, Ina et al. (2005): Application of Petri net theory for modelling and validation of the sucrose breakdown pathway in the potato tuber. Bioinformatics 21:1219-1226.

[Koc 08] Koch, Ina; Heiner, Monika (2008): Petri Nets in Biological Network Analysis Eds. B.H. Junker, F. Schreiber, Wiley Book Series on Bioinformatics, chapter 7: 139-180.

[Pet 61] Petri, Carl Adam (1962): Communication with automata (in German), Schriften des IIM Nr. 3, Bonn, Institut für instrumentelle Mathematik.

[Pop 05] Popova-Zeugmann, Louchka (2005): Time Petri Nets for Modelling and Analysis of Biochemical Networks Fundamenta Informaticae 67:149-162.

[Run 04] Runge, Thomas (2004): Application of Coloured Petri Nets in Systems Biology. Proc.5th Workshop CPN, Uni. of Aarhus, pp.77-95.

[Sac 06] Sackmann, Andrea et al. (2006): Application of Petri net based analysis techniques to signal transduction pathways BMC Bioinformatics 7:482.

[Sac 07] Sackmann, Andrea et al. (2007): An analysis of the Petri net based model of the human body iron homeostasis process Computational Biology and Chemistry 31:1-10.

[Vos 03] Voss, Klaus et al. (2003): Steady State Analysis of Metabolic Pathways using Petri Nets. In Silico Biology 3(3):367-387.

Kontakt

Prof. Dr. rer. nat. Ina Koch
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Strasse 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 3972
E-Mail: ina.koch@beuth-hochschule.de

Wireless Multicast of Real-Time High Quality Audio

Prof. Dr.-Ing. Marcus Purat, Dipl.-Ing. Tom Ritter
Forschungsschwerpunkt: Digitaltechnik und Digitale Signalverarbeitung

Kurzfassung

Im Rahmen des Projektes „Drahtlose Echtzeit-Übertragung zur Verteilung von hochqualitativen Audiosignalen in Gebäuden“ soll in Zusammenarbeit mit dem industriellen Projektpartner DSPecialists GmbH aus Berlin ein drahtloses Audioverteilsystem auf der Basis von WLAN-Technologie entwickelt und optimiert werden. Nachdem die wesentlichen Eigenschaften der Übertragungstrecke im Multicast-Mode quantifiziert wurden, stand die Evaluation verschiedener Verfahren zur Audiokompression und zur subjektiven Fehlerverschleierung im Mittelpunkt der Untersuchung.

Abstract

The aim of the project “Wireless Multicast of Real-Time High Quality Audio” in cooperation with the project partner in the industry DSPecialists GmbH Berlin is to develop and optimise a wireless audio distribution system based on WLAN technology.
After having quantified the main properties of a multicast WLAN transmission, the focus of the investigation was turned to the evaluation of different audio compression schemes and measures to conceal packet losses subjectively.

Einleitung

Ein bestehendes Audioverteilsystem des Projektpartners überträgt 10 Audio-Kanäle (48 kHz/16 Bit Stereo) im Multicast-Mode in einem lokalen Ethernet [1, 2]. Infolge der geringen Paketverlustrate bei kabelgebundenen Verbindungen und der verfügbaren Bandbreite kann sowohl auf eine Audiokompression als auch auf zusätzliche Redundanz verzichtet werden.
Die steigende Popularität von WLAN-Netzwerken und die damit verbundene Verfügbarkeit von preiswerten Endgeräten bildete den Ausgangspunkt für Überlegungen, das Ethernet durch eine kabellose Infrastruktur zu ersetzen. Bei einer Point-to-Point Datenverbindung kann der Empfänger den Empfang quittieren und der Sender eventuell verlorene Pakete erneut senden. Eine WLAN-Konfiguration mit einer Basisstation und mehreren Empfängern, die alle dieselben Daten empfangen sollen, kann im Multicast-Betrieb die vorhandene Bandbreite besser ausnutzen. Die auftretenden Paketverluste können nicht auf der WLAN-Ebene ausgeglichen werden.
Die Aufgabe des Projektes bestand zunächst darin, die wesentlichen Übertragungsparameter einer 802.11 WLAN-Funkübertragungsstrecke für repräsentative Anwendungsbeispiele festzustellen. Die so gewonnenen Parameter flossen dann ein in die Auswahl und dem quantitativen Vergleich von Quellen- und Kanalcodierungsverfahren, die unter den gegebenen Bedingungen in Hinblick auf verfügbare Bandbreite und Rechenaufwand die beste subjektive Audioqualität liefern.

Funkstrecke

Aufbau

Die WLAN IEEE 802.11 Infrastruktur wird im 5 GHz Band betrieben, da die überwiegende Anzahl der existierenden Strecken den 2.4 GHz (802.11b/g) Betrieb benutzen und somit im 5GHz Band weniger Interferenzen auftreten.

Multicast

Durch den Multicast-Mode im Netzwerk wird jedes Paket vom Sender an alle mit diesem Sender assoziierten Stationen ohne Empfangsbestätigung gesendet.
Die Multicast-Übertragungsrate kann an dem Access Point mit Hilfe des Treibers von MadWifi [3] im Betriebssystem Linux eingestellt werden. Der Standard 802.11a bietet acht verschiedene Übertragungsraten von 6 bis 54 MBps an.

Eigenschaften der Funkstrecke

Mit wachsender Übertragungsrate verringert sich die Versorgungsfläche bei konstanter Qualität, da höhere Eingangsempfindlichkeiten erforderlich sind. Weiterhin wirkt sich negativ auf die Reichweite aus, dass bei höheren Raten bauartbedingt weniger Sendeleistung abgestrahlt werden kann.
Die Paketgröße im WLAN ist durch das dem 802.11 Standard zugrunde liegende Ethernet auf Werte zwischen 60 und 1500 Bytes Payload festgelegt. Wegen des konstanten Overheads steigt mit zunehmender Paketgröße der Durchsatz am Sender. Bei gleicher Bitfehlerrate und zunehmender Paketgröße erhöht sich jedoch auch die Paketverlustwahrscheinlichkeit. Abb. 1 stellt den Zusammenhang zwischen der Paketgröße und dem normierten Durchsatz für drei Übertragungsraten graphisch dar. Die Beziehung zwischen der Paketgröße und der Paketverlustwahrscheinlichkeit ist in Abb. 2 zu sehen. Darin wird die Berechnung von Verlustraten von Paketen anderer Länge ausgehend von einer Messung experimentell bestätigt.

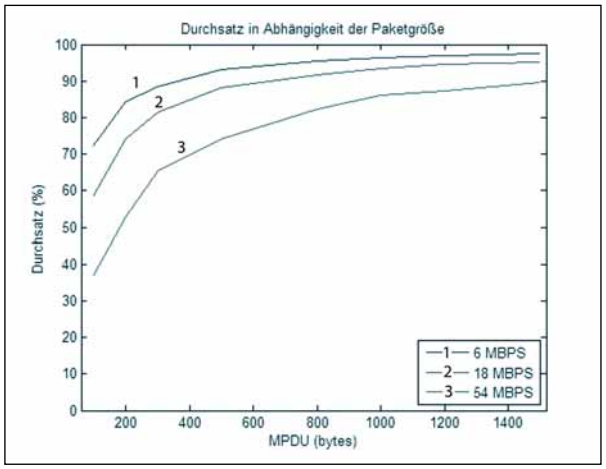


Abb. 1: Durchsatz in Prozent in Abhängigkeit der Paketgröße in Bytes

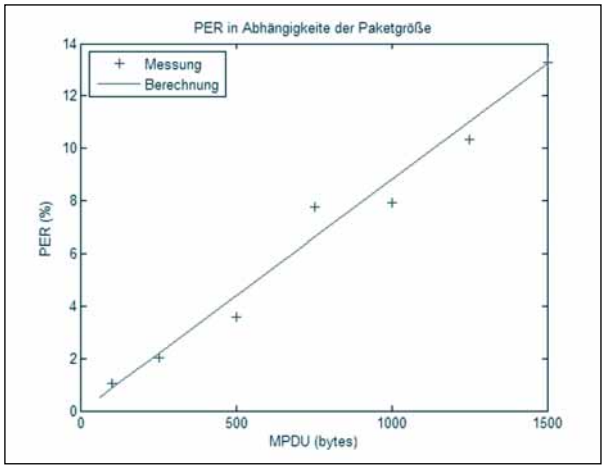


Abb. 2: Paketverlustrate in Prozent in Abhängigkeit der Paketgröße in Bytes

Bei der Messung traten durch die Installation der experimentellen Basisstation nahe der Raumdecke nur wenige Paketverluste als Bündelfehler auf.

Bewertung der subjektiven Audioqualität

Um die subjektive Audioqualität der unterschiedlichen Verfahren objektiv vergleichen zu können, wurde die Umsetzung der ITU Empfehlung BS.1387 PEAQ (Perceptual Evaluation of Audio Quality) verwendet. Diese Software simuliert die Eigenschaften des menschlichen Gehörs basierend auf einem psychoakustischen Modell. PEAQ vergleicht zwei Audiosignale miteinander und gibt einen Objective Difference Grade zwischen 0 und -5 aus, der den Grad der Verfälschung angibt. Dadurch werden aufwendige Testreihen mit Testhörern unnötig.

Quellenkodierung

Im bestehenden Ethernetbasierten System wird aufgrund der verfügbaren Bandbreite des 100 MBps Ethernetlinks keine Audiocodierung benötigt. Auf der Funkstrecke kann auf eine Codierung jedoch nicht verzichtet werden, da durch die reduzierte Datenrate für die Audiodaten einerseits die Übertragungsrate verringert und somit die Reichweite erhöht wird und andererseits bei gleicher Übertragungsrate zusätzliche Redundanz zur Korrektur von Paketfehlern hinzugefügt werden kann.
Die durch den Einsatz von Frame-basierten Audiocodierverfahren zwangsläufig erhöhte Latenz in Größenordnung der Framelänge kann für die vorgesehene Anwendung toleriert werden.
Verschiedene Verfahren wie Vorbis, AAC und MP3 wurden verglichen und aufgrund der Patentfreiheit und der Audioqualität bei höheren Datenraten wurde der offene Vorbis Standard [4] ausgewählt.

Vorbis

Der Aufbau des Vorbiscodecs, dargestellt in Abb. 3, weist einige Besonderheiten gegenüber anderen Audiokompressionsverfahren auf. Als Frequenztransformation wird eine modifizierte DCT (MDCT) verwendet, bei der aufeinander folgende Fenster sich überlappen. Das auf einer DFT basierende psychoakustische Modell liefert eine Rausch- und eine tonale Maske, mit deren Hilfe die aus der MDCT erhaltenen Werte in eine grobe (Floor) und eine feine (Residue) Beschreibung zerlegt werden, die dann quantisiert werden. Die Residues aus den verschiedenen Kanälen (zum Beispiel links und rechts bei Stereo) werden dann miteinander gekoppelt. Danach erfolgt eine verlustlose Huffman-Kodierung. Der im Vorbis erzeugte Floor benötigt nur wenige Parameter im Gegensatz zum Residue, welches uncodiert die gleiche Länge wie die MDCT hat.

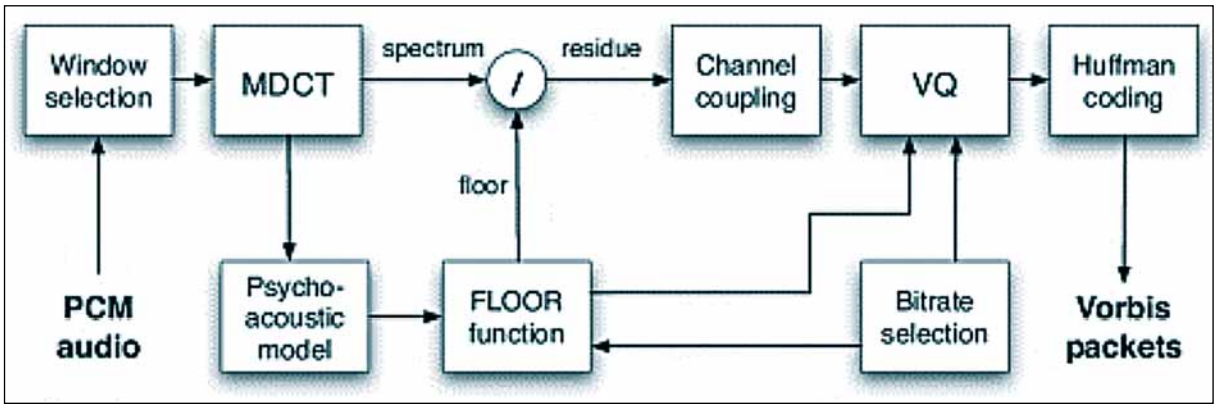


Abb. 3: Aufbau des Vorbis Encoders [5]

Der Zusammenhang zwischen der Paketgröße der mit Vorbis kodierten Daten und der vom Encoder verwendeten Bitrate ist in Abb. 4 veranschaulicht.
Die von Vorbis verwendete Bitrate hat direkten Einfluss auf die subjektive Audioqualität. In Abb. 5 wurden fünf unterschiedliche Musikstücke mit Vorbis codiert und mit Hilfe von PEAQ bewertet.

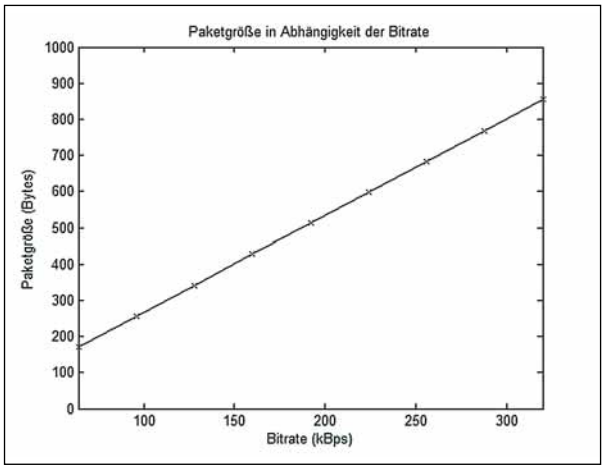


Abb. 4: Zusammenhang Paketgröße in Bytes und Vorbis Bitrate in kBps

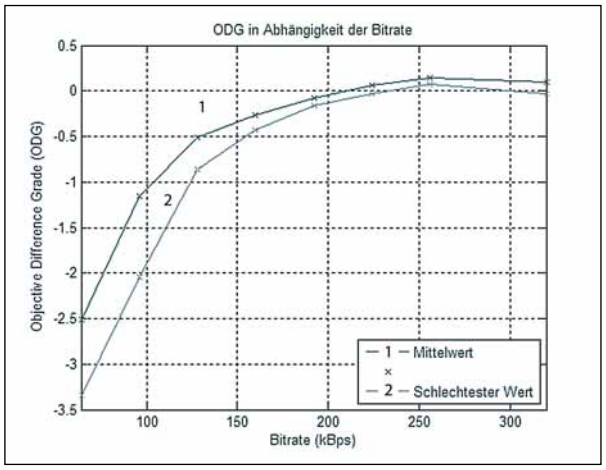


Abb. 5: Zusammenhang Vorbis Bitrate in kBps und subjektiver Audioqualität ODG

Kanalkodierung

Die Kanalkodierung im WLAN kann ohne Zugriff auf die entsprechende Firmware der WLAN Hardware nicht verändert werden. Je nach Übertragungsrate werden aber verschiedene Modulationsverfahren mit unterschiedlichem Anteil an Fehlerkorrekturdaten genutzt.

Kombinierte Quellen- und Kanalkodierung

Um die Auswirkungen von Paketverlusten zu minimieren könnten skalierbare Audiokodierverfahren eingesetzt werden. Nachteil dieser Verfahren sind jedoch die relativ unflexiblen Skalierbarkeitsstufen und die Hierarchie der Schichten, die zur Folge hat, dass die Audioqualität sich nicht proportional zur verfügbaren Bandbreite verhält.

Multiple Decription Transform Coding

Da im Multicast-Betrieb Paketverluste unvermeidbar sind, müssen Methoden implementiert werden, die diese Verluste weitestgehend ausgleichen können. Verschiedene Verfahren wurden im Rahmen des Projektes näher untersucht.

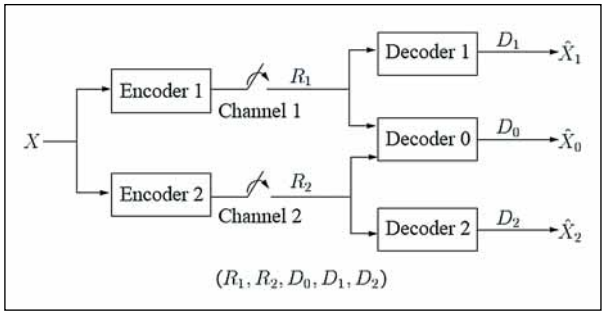


Abb. 6: MDCT Übertragungsstrecke [7]

Ein verloren gegangenes Paket kann mit Hilfe des vorherigen und des nächsten unter der Annahme einer relativen Stationarität am Empfänger geschätzt werden. Die einfache Implementierung dieser Technik ist die Wiederholung des vorangegangenen Paketes. Eine weitere Vorgehensweise ist die Mittelung der benachbarten Pakete im Frequenzbereich. Diese Verschleierungstechniken wurden in [6] verglichen. Der Vorteil dieser Verfahren liegt in der Unabhängigkeit von zusätzlichen Informationen im Datenstrom.
Um möglichst vollständige Informationen an den Empfänger über eine verlustbehaftete Übertragungsstrecke zu liefern, kann ein Paket in verschiedene Pakete aufgeteilt werden. Um dann dem Empfänger eine genauere Schätzung der nicht empfangenen Teildaten zu ermöglichen, können dem Bitstrom zusätzliche Informationen hinzugefügt werden. Eine solche Technik ist die Multiple Description (MD) Coding, die einen Informationsstrom in mehrere Teilströme aufteilt und miteinander korreliert. Diese Teilströme werden als Beschreibungen bezeichnet. Werden alle Beschreibungen empfangen, kann das ursprüngliche Paket fehlerfrei durch Rücktransformation zusammengesetzt werden. Stehen Beschreibungen am Empfänger nicht zur Verfügung, werden diese mit Hilfe der zusätzlich übertragenen Varianzinformationen der Beschreibungen geschätzt.

Abb. 6 zeigt ein einfaches Modell eines MDCT-Systems mit zwei Kanälen. Dekoder 1 empfängt nur die Daten von Kanal 1 und Dekoder 2 nur die von Kanal 2. Beide erzeugen eine Schätzung des Originalsignals. Dekoder o stehen beide Kanäle zur Verfügung und kann die beste Annäherung generieren.

Ergebnisse

Im ersten Schritt der Simulation wurden die Frequenzkomponenten aus der MDCT als Ausgangspunkt der Multiple Description Coding Transform genutzt.
Da die Paketverluste je nach Inhalt des Audiopaketes unterschiedliche Auswirkungen auf die Qualität haben können, mussten für jede Verlustrate mehrere Versuche durchgeführt werden, um aussagefähige Resultate zu gewinnen.
Abb. 7 stellt den Zusammenhang zwischen der durchschnittlichen subjektiven Audioqualität und der Paketverlustrate für MD-Systeme mit 2 bis 32 Beschreibungen dar. Abb. 8 zeigt den jeweils schlechtesten ODG-Wert abhängig von der Verlustrate.

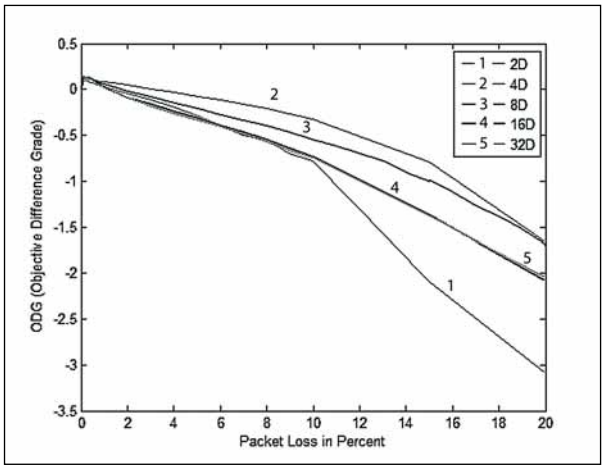


Abb. 7: Zusammenhang durchschnittliche subjektive Audioqualität und Paketverlustrate für Systeme mit 2 - 32 Beschreibungen

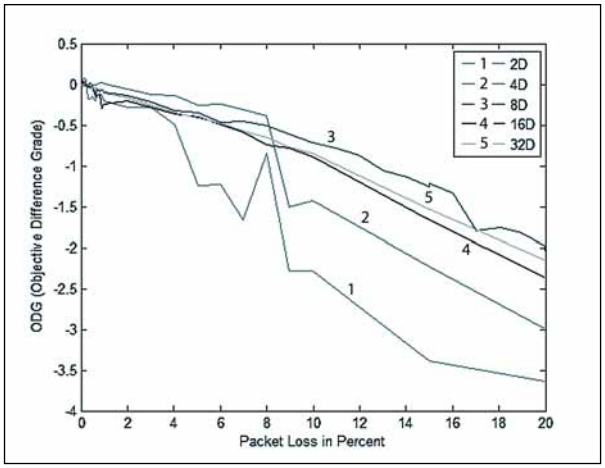


Abb. 8: Zusammenhang niedrigste subjektive Audioqualität und Paketverlustrate für Systeme mit 2 - 32 Beschreibungen

Die Darstellungen zeigen, dass vier und acht Beschreibungen die besten Resultate in Hinblick auf die Audioqualität liefern. Vier Beschreibungen sind im Mittel besser als acht, aber in Bezug auf die niedrigste mögliche Qualität sind acht Beschreibungen zumindest bei höheren Verlustraten zu bevorzugen. Dabei zu beachten ist, dass mit steigender Anzahl der Beschreibungen der Rechenaufwand sowohl am Sender als auch am Empfänger erheblich zunimmt.

Zusammenfassung und Ausblick

In der derzeitigen Phase des Projekts ist die Charakterisierung der WLAN-Strecke abgeschlossen. Ein Prototypsystem wurde aufgebaut, die für die Multicast-Übertragung wichtigsten Parameter wurden herausgearbeitet und können nun in die Simulation der Strecke einfließen.
Für MDCT-basierte Audiokompressionsverfahren wurde die Leistungsfähigkeit des Multiple-Description Verfahrens zur Verbesserung der subjektiven Audioqualität bei verlustbehafteten Übertragungsstrecken untersucht.
Da der Vorbis-Codec die MDCT zerlegt muss diese Konfiguration separat simuliert werden.
Zur Charakterisierung der Effektivität von „Multiple Description"-Verfahren soll im nächsten Schritt der Untersuchung die durch die Korrelation erhöhte Entropie (Datenrate) bestimmt werden.

Literatur

[1] Multiroom-Premiere, hitec Handel, 08/03.

[2] Multicast Audio over Wireless LAN for Professional Applications. V. Kravcenko, M. Purat, S. Schmitt, J. Cronemeyer, Proceedings of the „Embedded World" Conference, February 22nd - 24th, 2005, Nuremburg, Germany.

[3] Madwifi/Atheros Wireless Linux Driver Users Guide, http://www.madwifi.org [Stand: 06.10.2009].

[4] "0.8* 1.2Vorbis I specification," Xiph.org Foundation (20.7.2004), Retrieved August 2008, from http://xiph.org/vorbis/doc/Vorbis_I_spec.html [Stand: 06.10.2009].

[5] Ogg Vorbis (2006): Subjective assessment of sound quality at very low bit rates, Jakub Svítek, CESNET technical report number 27/2006.

[6] Thomas Hohlbein (2008): Untersuchung und Implementierung von Verschleierungsverfahren bei paketorientierter Übertragung von Audiosignalen, Diplomarbeit, Technische Fachhochschule Berlin.

[7] Xin Zhong; Biing-Hwang Juang (2001): Multiple Description Speech Coding with Diversities, Bell Laboratories, Lucent Technologies.

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Marcus Purat
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 2380
E-Mail: marcus.purat@beuth-hochschule.de

Dipl.-Ing. Tom Ritter
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 5453
E-Mail: ritter@beuth-hochschule.de

Überlagerung von Ultraschall und Audioschall: Neue Wege zur Schallerfassung

Prof. Dr.-Ing. Tobias Merkel Forschungsschwerpunkt: Technische Akustik

Kurzfassung

Wenn ein nicht hörbarer Ultraschallstrahl durch das Schallfeld einer Audioquelle geleitet wird, kommt es zu einer Modulation der Ausbreitungsgeschwindigkeit. Zwei physikalische Effekte spielen dabei eine Rolle: die Überlagerung der Bewegung der Luftpartikel und die Abhängigkeit der Schallgeschwindigkeit von der Luftdichte. In einem Experiment wurde ein Ultraschallfeld mit Audioschall überlagert und anschließend mit einem Mikrofon wieder erfasst. Aus der Modulation wurde der Audioschall rekonstruiert. Die Messergebnisse bestätigen die theoretischen Zusammenhänge. Diese Effekte lassen sich gezielt zum Erfassen von Audioschall durch Ultraschall einsetzen und führen zu einer Art „virtueller Mikrofone“. Dabei sind am Ort der Schallaufnahme selbst keine technischen Einrichtungen wie Membrane oder Mikrofone notwendig.

Abstract

When an ultrasonic sound beam propagates in air, a second audio wave influences its sound velocity. This is caused by two effects: interaction of motion of air particles and the dependence between sound velocity and air density. The wave fields of an ultrasonic and an audio sound source were brought to the same volume. The ultrasonic wave was received from a short distance by a microphone. The phase shift of the received signal represents the variation in sound velocity. The measured results come very close to theoretical findings. The described effects will lead to a new kind of ”virtual” microphone: The ultrasonic wave will be sent over a long distance through the room and can be modulated by any kind of audio sources. No technical equipment is required at the place of sound reception through the ultrasonic carrier wave.

Einleitung

Ultraschallstrahler können nicht hörbare, hochfrequente Schallwellen stark gerichtet aussenden. Bei hohen Schalldrücken lassen sich nichtlineare Übertragungseigenschaften der Luft in der Art nutzen, dass ein aufmoduliertes Audiosignal mit fortschreitender Ausbreitung in den Raum wieder demoduliert wird und damit hörbar wird. Dabei behält der Audioschall die gleiche starke Richtwirkung wie der ursprüngliche Ultraschall [1]. Dieses Prinzip der Schallerzeugung ist auch unter den Begriffen „audio beam“ oder „audio spotlight“ bekannt [2]. Von Nachteil sind die dafür notwendigen hohen Ultraschallpegel und eine starke Frequenzabhängigkeit des Wirkprinzips [3].

Ein einfaches Experiment soll zeigen, ob sich diese Art der Schallwandlung umkehren lässt: Ein gerichteter und nicht modulierter Ultraschall wird über eine Distanz von mehreren Metern durch den Raum gesendet und anschließend mit einem Ultraschallmikrofon aufgenommen. Eine Audioschallquelle wird so positioniert, dass es zu einer räumlichen Überlagerung von Ultraschall- und Audioschallfeld kommt (Abb. 1).

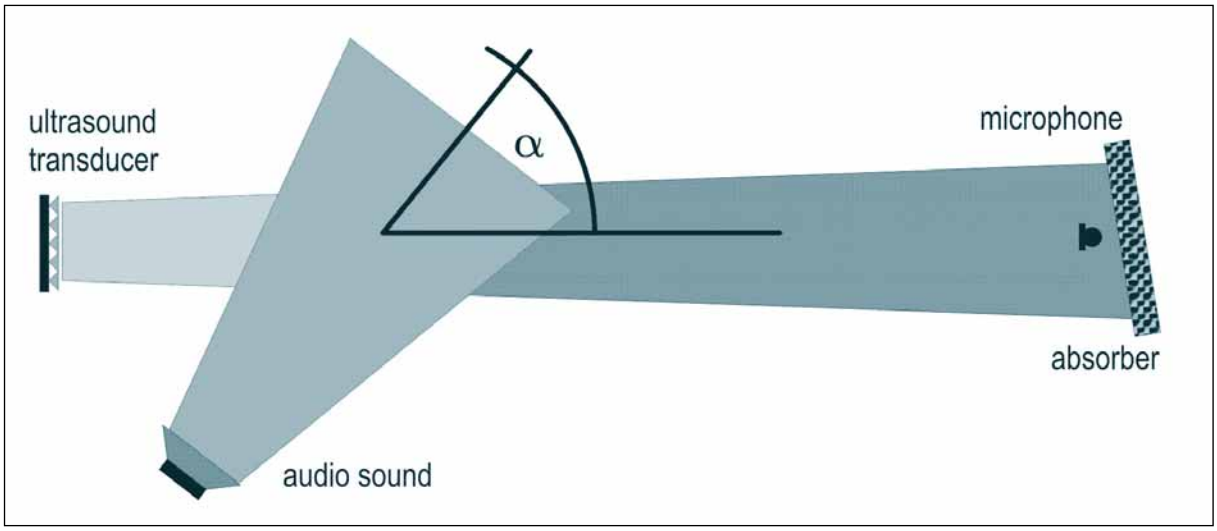


Abb. 1: Versuchsaufbau zur Überlagerung von Ultraschall und Audioschall

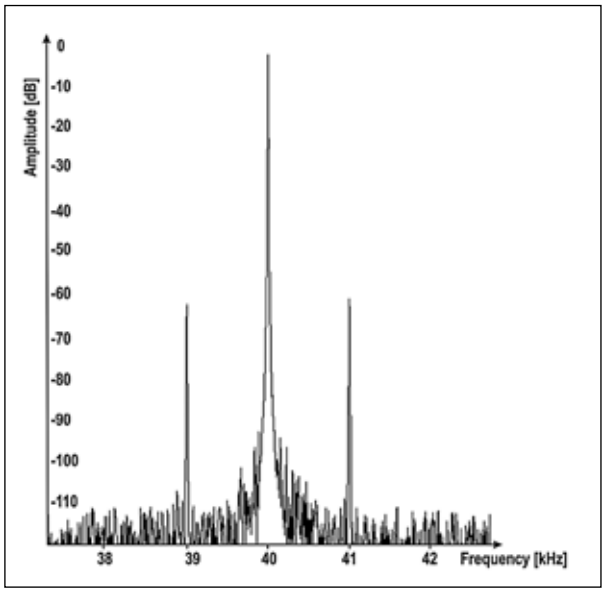


Abb. 2: Amplitudenspektrum des empfangenen Ultraschalls.

Das Amplitudenspektrum des empfangenen Ultraschallsignals – hier wurde mit einer Frequenz von 40 kHz gearbeitet – zeigt beidseitig des Trägersignals Seitenbänder im Abstand der Frequenz des Audiosignals (Abb. 2). Die Überlagerung der Wellenfelder führt damit zu einer wechselseitigen Beeinflussung der Wellen und Modulation des Ultraschalls [4]. Da die Effekte auch bei niedrigen Pegeln des Ultraschalls auftreten, wird – anders als beim „audio beam“ – kein Zusammenhang mit parametrischer Schallwandlung vermutet.

Physikalische Wirkungsweise

Für die physikalische Beschreibung wurde ein vereinfachter Versuchsaufbau zugrunde gelegt (Abb. 3). Der Ultraschall wird über eine Distanz L geleitet, die deutlich kürzer als die Wellenlänge des Audioschalls ist. Der Audioschall überlagert die Versuchsanordnung in einem Winkel α.

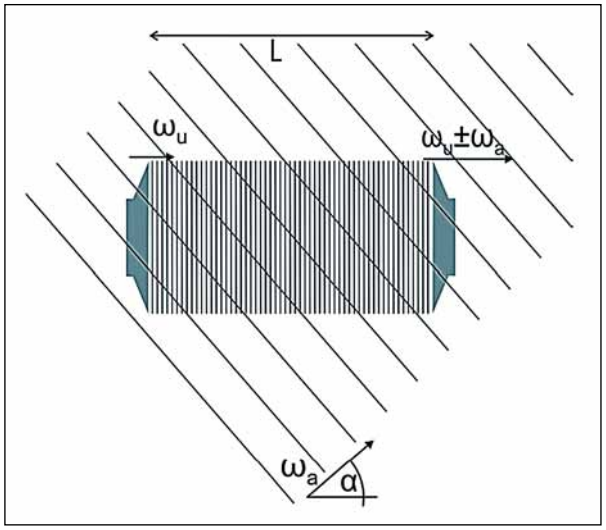


Abb. 3: Versuchsanordnung der Überlagerung von Schall bei kleiner Distanz L.

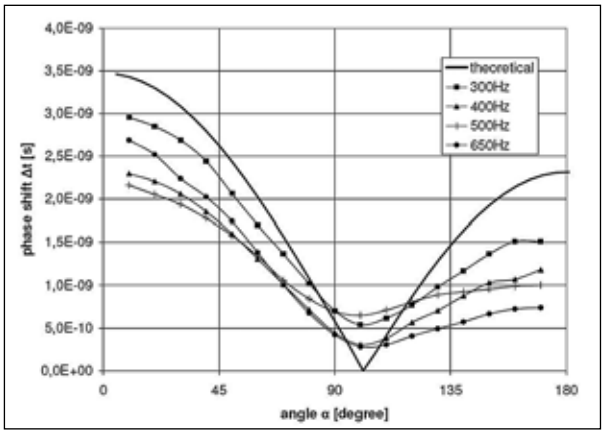


Abb. 4: Phasenverschiebung des Ultraschallsignals aufgrund des überlagerten Audioschalls, erwarteter und gemessener Zusammenhang.

Die Luftmoleküle, die bei der Wellenausbreitung in Schwingungen versetzt werden, werden von beiden Wellen gleichzeitig beeinflusst, es kommt zu einer Überlagerung der oszillierenden Bewegung. Für die Ultraschallwelle führt dies zu einer Modulation der Ausbreitungsgeschwindigkeit Δc_m, die vom Winkel α und vom Schalldruck p_a des Audioschalls abhängig ist:

$$\Delta c_m = v_a \cos\alpha = \frac{p_a}{\rho_0 c_0} \cos\alpha$$

(mit v_a...Bewegungsgeschwindigkeit der Luftmoleküle durch den Audioschall, ρ_0... Ruhe-dichte und c_0... Schallgeschwindigkeit der Luft).
Der Audioschall ist durch eine periodische Änderung des Luftdrucks gekennzeichnet. Dieses bewirkt eine weitere Modulation Δc_ρ der Ausbreitungsgeschwindigkeit des Ultraschalls [5]:

$$\Delta c_\rho = \frac{(\gamma - 1)}{2\rho_0 c_0} \cdot p$$

(mit γ... Adiabatenkoeffizient, γ =1,4 für Luft). Beide Modulationen führen zu einer resultierenden Modulation der Ausbreitungsgeschwindigkeit Δc des Ultraschalls:

$$\Delta c = \Delta c_m + \Delta c_\rho = \frac{2\cos(\alpha) + \gamma - 1}{2\rho_0 c_0} \cdot p_a$$

Der Modulationsgrad ist proportional zum Schalldruck p_a des Audioschalls und unabhängig sowohl von der Audiofrequenz als auch vom Schallpegel des Ultraschalls.
Im Empfangssignal des Mikrofons ist das Δc als eine Phasenmodulation des Ultraschalls messbar. Abb. 4 zeigt den Vergleich zwischen der erwarteten und der im Labor bei unterschiedlichen Frequenzen gemessenen Phasenverschiebung Δt [6]. Da der Modulationsgrad insgesamt sehr gering ist, müssen für eine technische Nutzung hohe Anforderungen an die Signalerfassung und -verarbeitung gestellt werden.

Anwendungen

Wird der Ultraschall gezielt durch das Schallfeld von Audioquellen geleitet und anschließend wieder aufgenommen, lässt sich über eine Demodulation des Ultraschalls der Audioschall rekonstruieren. Der Vorteil dieser indirekten Schallerfassung besteht darin, dass am Ort der Aufnahme selbst keine technischen Einrichtungen wie Membrane oder Mikrofone installiert sein müssen. Anwendungen dieser „virtuellen Mikrofone“ ergeben sich daher dann, wenn herkömmliche Mikrofone schwierig zu installieren sind, störend wirken oder mechanisch zerstört werden könnten.
Näher werden in diesem Zusammenhang die Entwicklung einer Audioerfassungsanlage für Veranstaltungsräume und virtuelle Freisprecheinrichtungen beispielsweise für Anwendung in Fahrzeugen untersucht.

Literatur

[1] Westervelt, J.G. (1963): Parametric Acoustic Array; JASA 35, S.535-537.
[2] Yoneyama, M.; Fujiomoto, J.(1983): The audio spotlight: An Application of non-linear interaction of sound waves to a new type of loud-speaker design, JASA 73, S.1532-1536.
[3] Mellert, V.; Kruse, R. (2005): Ein Demonstrationsexperiment zur parametrischen Schallerzeugung in Luft, DAGA 2005, München.
[4] Merkel, T. (2008): Die Umkehrung parametrischer Schallabstrahlung, DAGA 2008, Dresden.
[5] Naugolnykh, K.; Ostrovski, L.(1998): Nonlinear Wave Processes in Acoustics, Cambridge University Press.
[6] Merkel, T. (2009): The Interaction between Ultrasonic and Audio Waves in Air – an Experimental Study, NAG/DAGA 2009, Rotterdam.

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Tobias Merkel
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Str. 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 5203
E-Mail: merkel@beuth-hochschule.de

Robuster Regler nach dem Polabstandsverfahren für strukturvariable und nichtlineare Regelstrecken

Prof. Dr.-Ing Andreas Hambrecht Forschungsschwerpunkt: Antriebs- und Regelungstechnik

Kurzfassung

Für Regelstrecken mit unstetigen Nichtlinearitäten und wechselnden Strukturen wird ein praxisorientiertes Reglerentwurfsverfahren vorgestellt, das die Variation der Polstellen eines geschlossenen Regelkreises minimiert. Die Regelstrecke wird durch einen Satz von linearen Modellen (Multimodell) beschrieben. Das Ergebnis ist ein fester, von Regelstreckenparametern und Struktur unabhängiger, robuster linearer Regler, der eine sehr einfache Struktur hat. Das gewünschte Verhalten des Regelkreises wird durch Polstellen vorgegeben. Das Verfahren erfordert die Definition eines eindeutigen und stetigen Abstandes zweier Polkonfigurationen.

Abstract

For control problems with unsteady non-linearities and a changing structure a practical approach for controller design is presented. It minimises the variation of closed loop poles. The plant is modelled using a set of linear models (multimodel). The result is a fix robust linear controller which has a very simple structure. The required behaviour of the closed loop is defined by closed loop reference poles. The design algorithm requires the introduction of a well defined distance between 2 pole configurations.

Einleitung

Das Forschungsgebiet der robusten Regelung hat zum Ziel, Regler zu entwerfen, die unempfindlich gegen Parameter- und Strukturänderungen in der Regelstrecke sind. Regelstrecken mit Parameter- und Strukturänderungen finden sich z.B. in der Robotik und in Energieversorgungsnetzen mit dezentralen Erzeugern. In Energieerzeugungsnetzen mit vielen regenerativen Energieerzeugern werden Parameter- und Strukturänderungen durch häufiges Schalten im Netz verursacht. Um aufwändige und unübersichtliche Lösungen zu vermeiden sucht man robuste möglichst einfache und lineare Regler mit konstanten Parametern. Diese Regler vermeiden eine aufwändige Synchronisierung innerhalb verteilter Strukturen. Dieses Ziel kann mit dem vorgestellten Reglerentwurfsverfahren erreicht werden. Es liefert einen festen, robusten, linearen Regler. Die Regelstrecke muss sich durch ein lineares System mit endlich vielen Variationsfällen beschreiben lassen, Multimodell genannt. Damit sind sowohl zeitvariable als auch nichtlineare Regelstrecken zugelassen. Für den Reglerentwurf wird ein Optimierungsverfahren nach [Lan 85] , [Ham 90] verwendet. Ein Regler wird so bestimmt, dass für jeden Variationsfall im Multimodell der geschlossene Regelkreis stabil und die Polstellenkonfiguration der geschlossenen Regelkreise im Sinne des Gütekriteriums einen minimalen Abstand von der vorgegebenen Polstellenkonfiguration hat. Hierzu wird der Abstand zweier Polstellenkonfigurationen, kurz Polabstand genannt, definiert, der minimiert werden soll. Das Verfahren liefert praxistaugliche Regler, obwohl ein allgemeiner globaler Stabilitätsbeweis nicht bekannt ist. Um die Leistungsfähigkeit des Verfahrens zu demonstrieren wird eine Regelstrecke gewählt, deren Parameter variieren und deren Stabilitätsverhalten von stabil bis instabil variiert.

Modellbildung

Bei der betrachteten Regelstrecke handelt es sich um eine nichtlineare Regelstrecke, die abhängig vom Arbeitspunkt stabil oder instabil ist. Das lineare Multimodell der Regelstrecke wird für verschiedene Arbeitspunktwinkel φ_{AP} bestimmt. In den Arbeitspunkten wird das System linearisiert und die Übertragungsfunktion berechnet.

$$\Delta\ddot{\varphi} = \frac{1}{J}\left(-c_\mu \cdot \Delta\dot{\varphi} - l \cdot m \cdot g \cdot \cos(\varphi_{AP})\Delta\varphi + M\right)$$

$$G(s,\varphi_{AP}) = \frac{\varphi(s)}{M(s)} = \frac{1/J}{s^2 + \frac{c_\mu}{J}\cdot s + \frac{l\cdot m\cdot g}{J}\cdot\cos(\varphi_{AP})} = \frac{K\cdot\omega_0^2}{s^2 + 2D\omega_0\cdot s + \omega_0^2}$$

Für die Erzeugung des Multimodells wird der Parameter ϕ_{AP} von 0 in Schritten von $\pi/4$ bis π variiert. Das Multimodell besteht somit aus 5 linearen Modellen, im Beispiel dargestellt als Übertragungsfunktion. Die Pole des Multimodells sind in Abb. 1 dargestellt.

Der Regler

Es wird der häufig verwendete PID-Regler untersucht. $G_R(s) = \frac{K_P(1+sT_N)(1+sT_V)}{sT_N}$

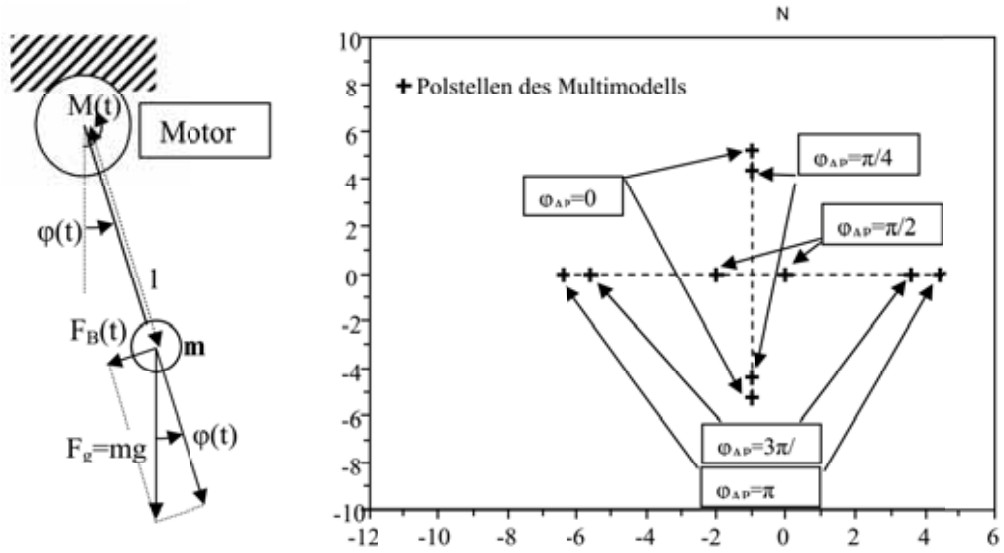


Abb. 1: Pendelaufbau und Pol-Nullstellen Konfiguration des Multimodells

Definition des Polabstandes

Gegeben sind zwei Polstellenkonfigurationen a und b mit jeweils n Polen. Der Vektor v enthalte die Pole von a und der Vektor w enthalte die Pole von b. Die Anordnung der Pole in $\underline{w}$ durchlaufe alle Permutationen p[0..n!]. Eine permutierte Anordnung der Elemente von w wird durch $\underline{w}_p$ bezeichnet. Der Polabstand d zwischen den Polkonfigurationen a und b ist:

$$d = \min_p \{(\underline{w}_p - \underline{v})^{*\cdot} (\underline{w}_p - \underline{v})\}$$

Diese Definition liefert einen eindeutigen und stetigen Polabstand. Es muss der Polabstand zwischen den n Polstellen eines geschlossenen Regelkreises und n vorgegebenen Polen berechnet werden. Die Berechnung aller n! Permutationen und deren Abstände ist für größere n zeitaufwendig. Das Problem ist unter dem Namen Zuordnungsproblem bekannt. Die lineare Programmierung stellt schnelle Algorithmen zur Verfügung, die den Polabstand berechnen können. Eine Berechnung aller n! Polabstände entfällt. Für ein Multimodell kann ein eindeutiger Polabstand angegeben werden (Abb. 3). Dieser mittlere Polabstand liefert ein Gütekriterium zum Entwurf des robusten Reglers.

Minimierung des Polabstandes

Um einen geeigneten Regler zu entwerfen, soll der Polabstand unter der Nebenbedingung, dass der geschlossene Regelkreis stabil ist, minimal werden. Um sich einen Überblick zu verschaffen, wird als Beispiel der mittlere Polabstand über die Reglerparameter K_R und T_N bei festem T_v aufgetragen (Abb. 3). Dieser Verlauf ist im Allgemeinen nicht differenzierbar. Gradientenverfahren, bei denen die Ableitung der Gütefunktion (Polabstand) benötigt wird, sind nicht anwendbar.

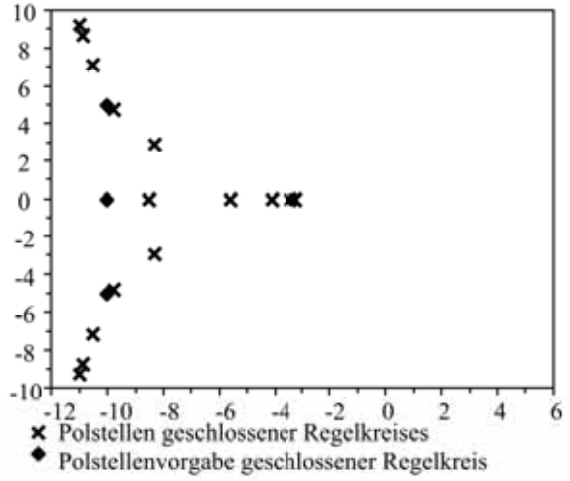


Abb. 2: Polstellenvariation des Regelkreises bei festem Regler

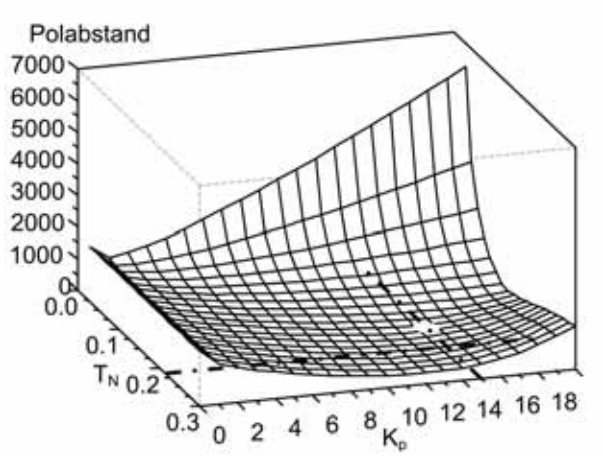


Abb. 3: Polabstand bei Variation des Reglers zur Polvorgabe -10, -10±i5

Eine geeignete Minimumsuche ist z.B. mit dem modifizierten Rosenbrockverfahren möglich (Abb. 4). Dieser Algorithmus bietet den Vorteil, eine Nebenbedingung angeben zu können, die unbedingt erfüllt sein muss und hier sicherstellt, dass alle Pole des geschlossenen Regelkreises in der linken offenen s-Halbebene liegen.

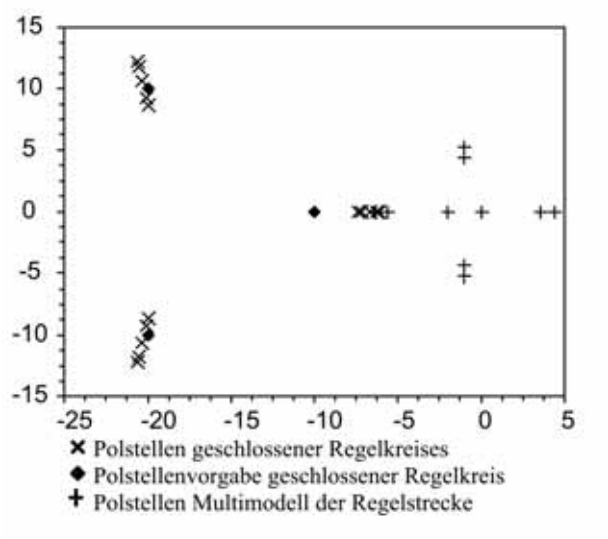


Abb. 4: Polstellen des optimierten Reglelkreises

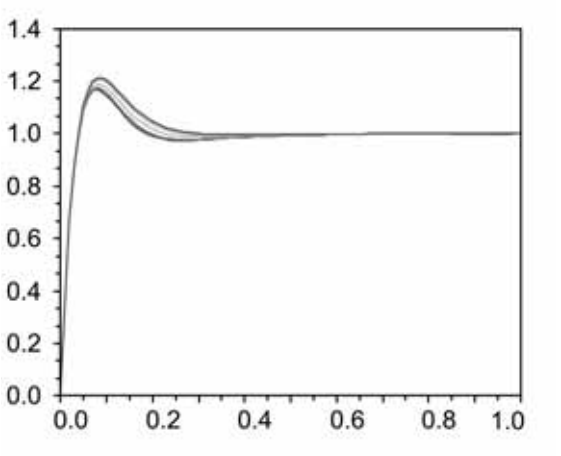


Abb. 5: Sprungantworten des optimierten Reglerkreises

Abb. 4 und Abb. 5 zeigt das Ergebnis der Optimierung für eine Polvorgabe von $-10, -20 \pm i10$. Für den PID-Regler erhält man $K_{popt}=0.507$ $T_{nopt}=0.114$ $T_{vopt}=0.114$. Deutlich ist die Konzentration der Polstellen des geschlossenen Regelkreises in der Umgebung der Polvorgabe zu erkennen. Auch die Sprungantworten des geschlossenen Regelkreises zeigen für jedes Einzelmodell des Multimodells das gewünschte Verhalten.

Zusammenfassung und Ausblick

Das Verfahren zeigt die gewünschten Eigenschaften. Erste Überlegungen zeigen, dass eine Anwendung des Verfahrens auf die Regelung von Netzen mit einem hohen Anteil an erneuerbaren Energien, die sich insbesondere in der Windenergie durch häufige Schalthandlungen und damit Änderungen der Netztopologie auszeichnen, gute Ergebnisse verspricht. Auch für die Anwendung in der Regelung von Bewegungen mit nichtlinearer Charakteristik und variierenden Lasten ist ein viel versprechender Ansatz zur Verbesserung der dynamischen Eigenschaften.

Literatur

[Ham 90] A. Hambrecht; I. Hartmann; F. Mänken (1990): Application of one robust and two adaptive control techniques to a non-linear plant, IASTED Proceedings of international conference CONTROL'90, June 18-21 1990, Lugano.

[Lan 85] Lange, W. (1985): Entwurf robuster Multimodell-Mehrgrößenregelkreise; Dissertation TU Berlin

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Hambrecht
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Str. 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 2900
E-Mail: hambrech@beuth-hochschule.de

Streifenprojektion zur Topometriebestimmung des vorderen Augenabschnitts

Prof. Dr. Manuel Fraatz, M. Sc. Thomas Mühlberg, Dr. Stephan Schründer

Kurzfassung

Ein bereits etabliertes Verfahren zur Oberflächenvermessung, die Streifenprojektion, bildet die Grundlage für ein neues optometrisches Instrument zur Bestimmung der Hornhauttopographie. Der Prototyp eines solchen Messgerätes wurde an der Technischen Fachhochschule Berlin entwickelt und erprobt. Es wurden Ergebnisse zur Messgenauigkeit an Testflächen und zur Reproduzierbarkeit an Augen ermittelt. Erstmalig wurden individuelle Contactlinsen, die auf Grundlage dieser Messtechnik hergestellt wurden angepasst und erste praktische Erfahrungen damit gesammelt.

Abstract

Fringe projection is a well established industrial 3-D measurement technique. An optometric prototype device was built based on this technique in order to measure corneal topologies. Extensive tests and experiments were performed to get results from plastic surfaces (accuracy) and human eyes in-vivo (reproducibility). First results were achieved regarding the quality of contact lenses that were built individually based on measurements performed with the new technology.

Problemstellung

Die herausragende Bedeutung der Hornhaut für die Abbildungsqualität des Auges ist seit langem bekannt. Schon früh stand die Topographie der Hornhaut im Interesse von Augenoptikern und Ophthalmologen. Die Kenntnis der Form der Cornea ist die grundlegende Voraussetzung für eine erfolgreiche Contactlinsenanpassung und ein wesentlicher Aspekt für die Auswahl der richtigen Contactlinse. Der Contactlinsenanpasser kann heute aus einer Vielzahl von Parametern die für die jeweilige Hornhautvorderfläche geeignetste Contactlinsenrückfläche aussuchen und bestellen. Die Contactlinsenrückflächen sind jedoch nur in beschränkter Parametervielfalt erhältlich, so dass die Anpassung immer einen Kompromiss darstellt.
Die Herstellungsverfahren in der Contactlinsenfertigung haben in den letzten Jahren einen erheblichen Wandel erfahren. So sind heute numerisch gesteuerte Maschinen verfügbar, die die Rück- und Vorderflächen einer Contactlinse mit einer Präzision von 200 - 300 nm fertigen. Durch luftgelagerte Drehspindeln und oszillierende Schneidwerkzeuge ist es möglich, diese präzisen Freiformflächen herzustellen. Hochsauerstoffdurchlässige Materialien, optimale Randgestaltung und plasmabehandelte Oberflächen erhöhen weiterhin den Tragekomfort der Linsen. Dieser technische Fortschritt im Fertigungsprozess ermöglicht es, individuelle auf die Vorderfläche der Hornhaut abgestimmte Contactlinsen herzustellen. Um eine Contactlinse mit solch einer Präzision passend zu fertigen sind allerdings auch hochgenaue Messdaten des vorderen Augenabschnittes erforderlich. Erfasst werden muss mindestens die Fläche, die die Contactlinsenrückfläche auch bedeckt. Der Durchmesser von Contactlinsen beträgt normalerweise mindestens 9 mm höchstens 15mm. In Spezialfällen kann er auch bis zu 25 mm (Sclerallinsen) betragen.
Die Abb. 1 zeigt das durch die Hornhaut abgebildete Ringmuster eines Messgerätes, das nach dem gebräuchlichen Placidoprinzip arbeitet. Derartige Geräte besitzen im Moment die größte Marktdurchdringung. Der maximale Durchmesser des Messfeldes beträgt prinzipbedingt nur 8 mm. Die Abb. 2 zeigt das Streifenbild des entwickelten und erprobten Messgerätes. Die kontrastreiche Streifenstruktur ist über einen deutlich größeren Bereich auswertbar und damit auch an den Stellen, wo die Contactlinse insgesamt aufliegt.

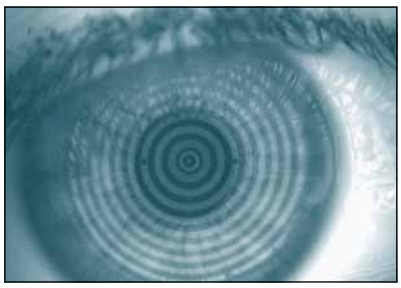


Abb. 1: Ringmuster eines Placido-Systems

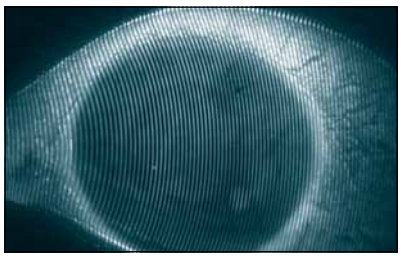


Abb. 2: Streifenmuster des erprobten Mess-Systems

Lösungsansatz

In diesem Forschungsprojekt wurde ein System entwickelt und erprobt, das unter Verwendung einer Streifenprojektion die dreidimensionale Vorderfläche des Auges in bisher nicht erreichbarer Größe und Genauigkeit erfasst. Ein vorrangiges Ziel der Arbeit stellten Messreihen an Testkörpern und Augen dar. Diese Messreihen sollten Aussagen über die Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit des Gerätes liefern. Erstmalig wurden nach dieser Technologie auch individuelle, maßgefertigte Contactlinsen auf ihre Trageeigenschaften hin untersucht und beurteilt.
Zunächst wurden Messreihen an definierten ein- und mehrkurvigen sphärischen Testflächen durchgeführt. Augen wurden kurz nacheinander und über einen längeren Zeitraum vermessen. Die Messergebnisse liegen in einem kartesischen Raster mit 0.1 mm Abstand als dreidimensionale Höhendaten vor. Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit werden in Standardabweichungen angegeben. Angaben zur Messgenauigkeit beziehen sich auf die Mittelwerte der Differenzen zwischen Messfläche und Sollfläche. Angaben zur Reproduzierbarkeit beziehen sich auf die Mittelwerte der Differenzen zweier Messungen an einem Auge.
Die Ergebnisse zur Messgenauigkeit liefern Standardabweichungen von 0.3 - 1.0 µm. Der Durchmesser des untersuchten Bereiches war mit 15 mm relativ groß gewählt. Die Abb. 3 gibt die Messgenauigkeit in Abhängigkeit von der Lage der Testkörper im Messvolumen wieder.
Die Standardabweichungen der Höhendaten von Hornhäuten wurden in einem zentralen Bereich von 8 mm Durchmesser untersucht. Für zwei kurz aufeinander folgende Messungen an einem Auge betrug sie im Mittel 1.25 ± 0.18 µm, wie in Abb. 4 dargestellt. Für Messungen zwischen denen ein Zeitraum von fünf bis vierzehn Tagen lag, ergab sich ein Mittelwert von 1.15 ± 0.34 µm.

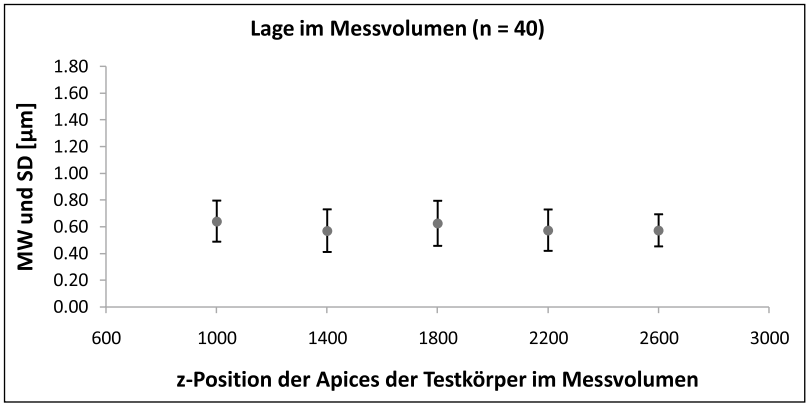


Abb. 3: Messgenauigkeit an Testkörpern

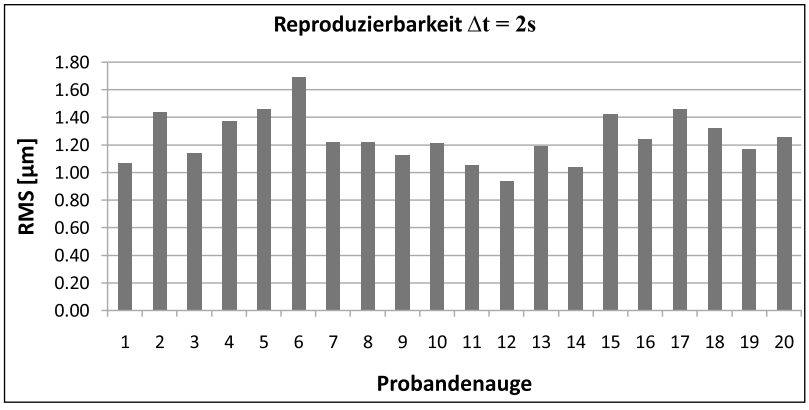


Abb. 4: Reproduzierbarkeit an Augen

Nach den Messungen an Probandenhornhäuten wurden individuelle Contactlinsen angefertigt und deren Anpassverhalten geprüft. Um den größtmöglichen Tragekomfort ohne Reizung des Auges und ohne Druckstellen bei optimaler optischer Korrektur der Fehlsichtigkeit zu ermöglichen, sollten die Krümmungen der Linsenrückfläche und ihr Durchmesser genauestens an die Oberfläche und Krümmungen der Cornea sowie an den Pupillendurchmesser des Auges des Contactlinsenträgers angepasst werden. Zur Beurteilung der Passform der Contactlinse auf der Cornea wurden sowohl das sog. statische, wie auch das dynamische Fluoreszeinbild bewertet. Im Tränenfilm der Contactlinse ist ein Farbstoff gelöst, der bei der Anregung von blauem Licht

grünes Licht emittiert. Je größer der Abstand zwischen Contactlinsenrückfläche und Hornhautvorderfläche ist, desto mehr Tränenflüssigkeit befindet sich in diesem Zwischenraum und desto heller ist die zu beobachtende Fluoreszenz, dort wo dunkle Bereiche sichtbar werden, haben sich Auflagen ausgebildet.
Abb. 5 zeigt das Fluoreszeinbild bei zentriertem Sitz einer nach der neuen Technologie gefertigten Contactlinse auf einer Cornea eines Probandenauges. Beurteilt werden können die Druckverteilung und die Größe der Contactlinse.

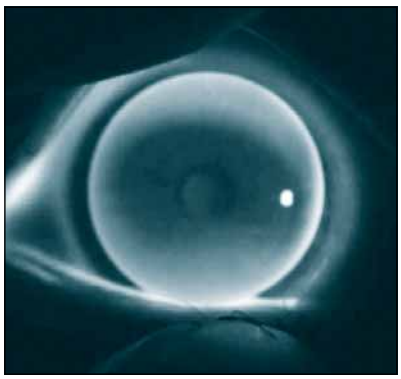


Abb. 5: Fluoreszeinbild einer nach der neuen Technologie gefertigten Contactlinse

Ausblick

Die Entwicklung und Erprobung der neuen Messtechnologie zeigte Ergebnisse zur Messgenauigkeit und Reproduzierbarkeit. In weiteren Studien wird untersucht, ob die Trageeigenschaften von individuell gefertigten Contactlinsen signifikant besser sind, als bei den konventionellen auf dem Markt verfügbaren Contactlinsen.

Literatur

- Vortrag auf der Contact 07 (http://www.schrunder.de/downloads/EyeShapeVDC.pdf)
- www.optometrie.de
- Posterpreiswettbewerb Contact 08
- www.eyeshape.de

Förderung

Exist Gründerstipendium (Förderkennzeichen: 03EGSBE033)

Kontakt

Prof. Dr. Manuel Fraatz
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Str. 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 4718
E-Mail: fraatz@beuth-hochschule.de

M. Sc. Thomas Mühlberg
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Str. 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 4701
E-Mail: tm@eyeshape.de

Dr. Stephan Schründer
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Gründerwerkstatt
Kurfürstenstr. 141
10785 Berlin
Telefon: +49 30-4504 4701
E-Mail: schruend@beuth-hochschule.de

Untersuchungen zum Heißprägen von HARMST - High Aspect Ratio Microsystems - in thermoplastischen Kunststoff

Prof. Dr.-Ing. Andreas Risse, Dipl.-Ing. (FH) Alexander Mai
Forschungsschwerpunkt: Fertigungsverfahren der Mechatronik und elektronischen Gerätetechnik

Kurzfassung

Für das Heißprägen mit einem für die Versuche entwickelten und durch Direkt-LIGA-Technologie gefertigtem mikrostrukturiertem Prägewerkzeug mit Strukturgrößen von 2 μm bis 50 μm werden die Einflussgrößen Prägetemperatur, -druck, Nachdrückzeit und Entformtemperatur auf die Qualität der Abformung untersucht. Zur Charakterisierung der Abformqualität werden der Grad der Füllung der Formhohlräume (Formfüllungsvermögen), die Ausbildung der Strukturkanten, die Gratbildung, die Bauteilschwindung und die Höhe der auftretenden inneren Spannungen ausgewertet. Mit den ermittelten optimierten technologischen Parametern wird ein Referenzprodukt gefertigt.

Abstact

Investigations for the quality of HARMST, realized with hot embossing, are represented. For this procedure a new tool are developed and realized with LIGA technology. The influence of hot embossing temperature, -pressure, time of repress and temperature of demoulding are investigated. The quality of hot embossing parts depends on these parameters, these are investigated and the optimum parameters are find out. A reference micro fluid distributor is manufactured.

Einleitung

Heißprägen gehört heute zu den Standardverfahren für die Strukturierung von Kunststoffen in der Mikrofluidik, optischen Gerätetechnik und für Hologrammstrukturen. Damit liegen auch für das Mikroheißprägen eine Vielzahl von Untersuchungen für die Einflussgrößen und die Optimierung der Qualität vor [1], [2], [3]. Die Herstellung der für das Heißprägen verwendeten Werkzeuge – Formeinsätze – erfolgt je nach Aspektverhältnis und Strukturauflösung in Direkt-LIGA-Technologie oder durch Lithographie und Ätzprozesse in Silizium oder auch durch Präzisionsfräsen [1], [4], [5]. Der Vorgang des Prägens erfolgt wahlweise kraftgesteuert oder weg- und kraftgesteuert. Die Nachdrückphase soll dem Kunststoff die Möglichkeit geben, die Formhohlräume vollständig zu füllen und Spannungen abzubauen. Zur Entformung erfolgt das Abkühlen bis unterhalb der Glasübergangstemperatur T_G. Dann erfolgt die Relativbewegung zwischen Werkzeug und Substrat zur Entformung, laut [1] der kritischste Abschnitt des gesamten Prozesses. Der Prägevorgang findet unter Vakuum statt, um Gaseinschlüsse zu vermeiden und eine vollständige Füllung der Kavitäten zu gewährleisten. Die Einflussgrößen auf den Prägeprozess werden im Abb. 1 dargestellt.

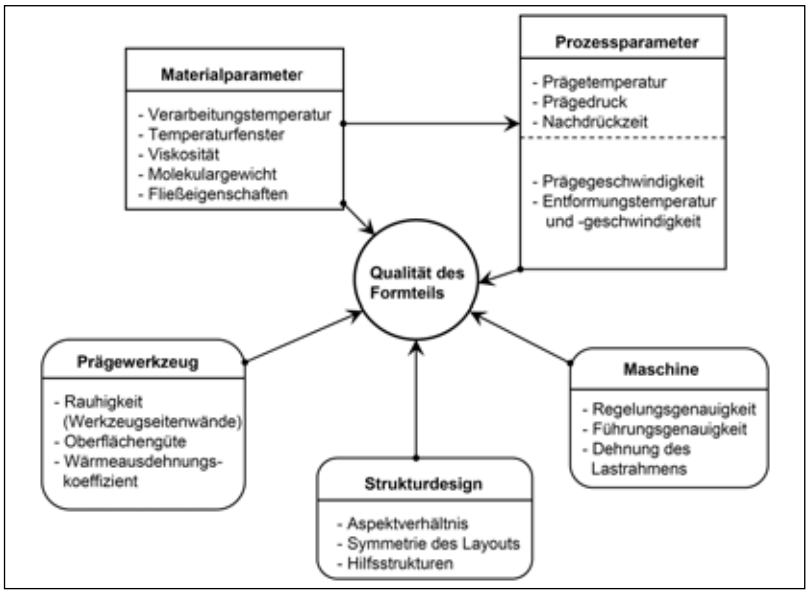


Abb. 1: Einflussgrößen auf den Prägeprozess

Versuchsplanung und -durchführung

Beim Mikroheißprägen ist die vollständige Füllung der Formhohlräume durch das erzwungene Fließen der Polymerschmelze kritisch. Um unterschiedliche Fließbedingungen zu simulieren, werden die Prägetemperatur und der Prägedruck gemeinsam und einzeln variiert. Außerdem werden die Nachdrückzeit und die Entformtemperatur untersucht, siehe Versuchsparameter Tab. 1. Realisiert werden die Versuche auf einer Heißprägeanlage HEX 3 der Firma Jenoptik Mikrotechnik GmbH im Anwenderzentrum für Mikrotechnik des Helmholtzzentrums Berlin für Materialien und Energie.

Versuchsparameter	Variationsbereich
Prägetemperatur in °C	115 - 255
Prägedruck in MPa	0,3 - 15
Nachdrückzeit in s	0 - 300
Entformtemperatur in °C	60 - 110

Tab. 1: Untersuchte Parameter

Als Material wurde ein thermoplastisches Kunststoffsubstrat der Marke Hesaglas auf PMMA basierend verwendet. Dieses wurde vor dem Prägen entsprechend gereinigt, um eine partikelfreie Oberfläche zu gewährleisten und danach 24 Stunden bei 70°C in Stickstoffatmosphäre und einem Unterdruck von 200 mbar ausgeheizt.
Das Prägewerkzeug mit den Abmessungen 21x16 mm^2 besteht aus jeweils vier Feldern mit erhabenen und vier Feldern mit vertieften Strukturgruppen, Abb. 2. Es wurde mit der LIGA-Technologie aus galvanisch abgeschiedenem Nickel hergestellt.

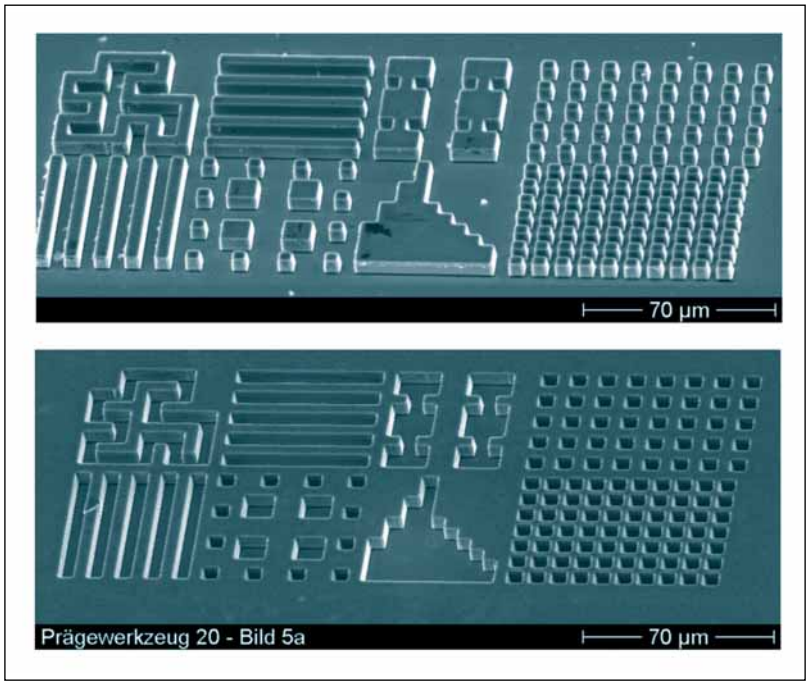


Abb. 2: Ausschnitt aus dem verwendeten Prägewerkzeuges

Die Auswertung der Qualität der Heißprägeversuche erfolgt im Wesentlichen über die in der Lithographie angewandten Qualitätskriterien, d.h. die Füllung der Formhohlräume auf den unterschiedlichen Positionen des Formwerkzeuges als wesentliches Kriterium, die Ausbildung der Strukturkanten, die Gratbildung, die Formteilschwindung sowie das Entformungsverhalten. Dazu werden anhand von Vergleichsmustern Qualitätskriterien für die Formfüllung, den Strukturabriss während der Entformung, die Ausbildung der Strukturkanten und die Gratbildung mit 3D-Scans und Schnitten am Laser-Scanning-Mikroskop erarbeitet. Die Untersuchungen auf mögliche Eigenspannungen nach der Abformung erfolgten auf einem Polarisationsmikroskop.
Der Verschleißzustand des Werkzeuges wurde während der Versuche ständig überwacht.

Versuchsergebnisse und Auswertung

Einflussgrößen auf die Formfüllung

Prägetemperatur

Die Prägetemperatur hat wesentlichen Einfluss auf die Formfüllung in Abhängigkeit von der Entfernung der Strukturen vom Zentrum. Das Ansteigen der Prägetemperatur führt zu einer besseren Abformung kleiner Strukturgrößen infolge der Absenkung der Viskosität der Polymerschmelze. Die kleinste Strukturgröße von 2 μm wird in dem Randbereich erst bei Prägetemperaturen von 235°C vollständig ausgeformt, während im Zentrum die vollständige Formfüllung bereits bei 205°C erfolgt. Eine weitere Erhöhung der Prägetemperatur als auch des Prägedrucks führt zu einem vermehrten Abreißen der Strukturen bei der Entformung. Auch dabei ist die Position der Struktur zum Zentrum entscheidend. Während in den Randbereichen bis zu 50 % der Strukturen bei der Entformung beschädigt werden, beschränkt sich die Zahl im Zentrum auf einige wenige. Ursachen könnten zum einen eine beginnende Vernetzung über den längeren Fließweg sein bzw. die Verringerung des Druckes innerhalb der fließenden Polymerschmelze mit ansteigender Entfernung vom Zentrum. Abb. 3 zeigt den Einfluss der Prägetemperatur auf die Formfüllung der verschiedenen Strukturgrößen im Randbereich und im Zentrum des Werkzeuges unter zusätzlicher Beachtung des Prägedruckes. Die Nachdrückzeit war konstant. Typisch ist der waagerechte Verlauf nahezu aller Graphen im Bereich von etwa 140°C bis 170°C. Diese gleich bleibende Strukturgröße bei der Ausformung trotz ansteigender Prägetemperatur kann mit der Ausbildung eines so genannten viskoelastischen Plateaus vor dem Übergang in den Schmelzzustand erklärt werden. Abb. 4 zeigt einen Ausschnitt der vollständig ausgeformten Strukturen.

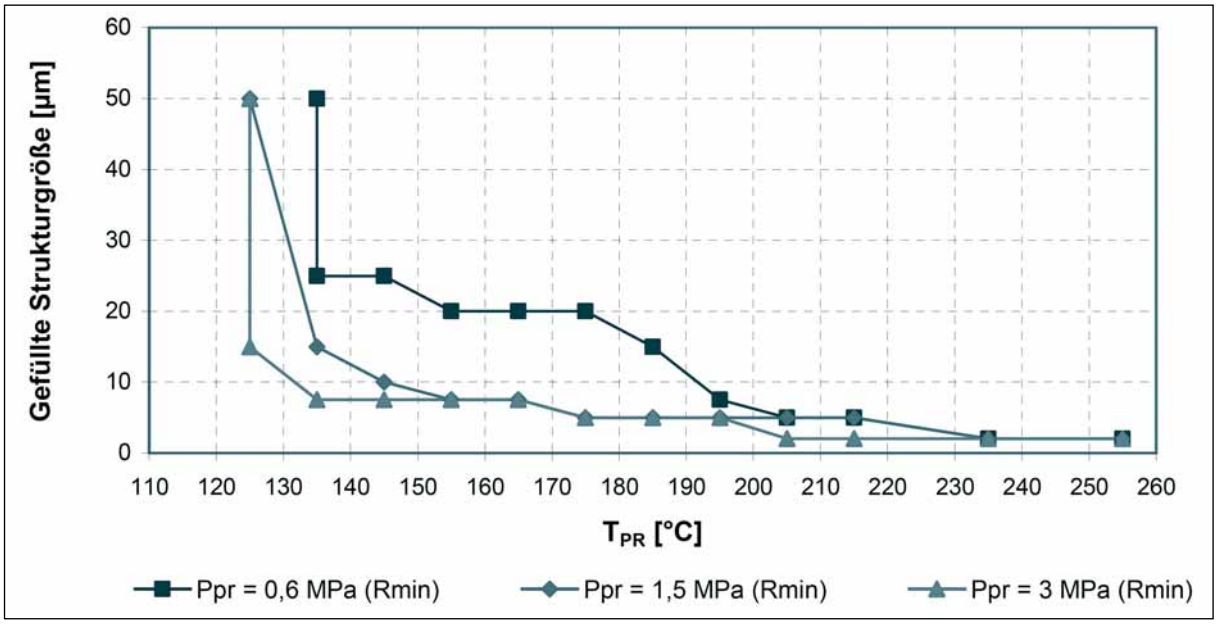


Abb. 3: Formfüllung in Abhängigkeit von der Prägetemperatur Tpr

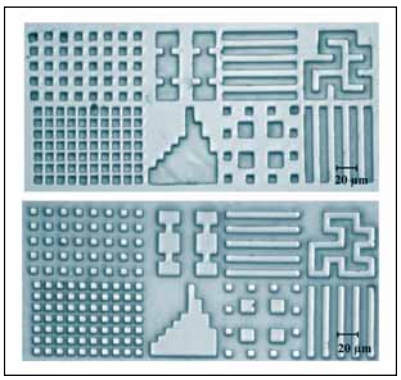


Abb. 4: Beispiele vollständiger Formfüllung bei vertieften (oben) und erhabenen Strukturen (unten)

Prägedruck
Mit steigendem Prägedruck wird die Formfüllung kleiner Kavitäten erheblich verbessert, unabhängig, ob diese sich im Randbereich oder in der Mitte der Prägeform befinden. Aus Abb. 5 wird deutlich, dass für Strukturen im Inneren des Formwerkzeuges ab einem optimalen Prägedruck, der in unseren Versuchen bei 1,5 MPa lag, eine weitere Erhöhung des Prägedruckes keine wesentliche Verbesserung des Abformverhaltens bringt. Das Abformverhalten für kleinere Strukturgrößen wird zwar verbessert, aber ab etwa 8 MPa sind keine Verbesserungen mehr sichtbar.

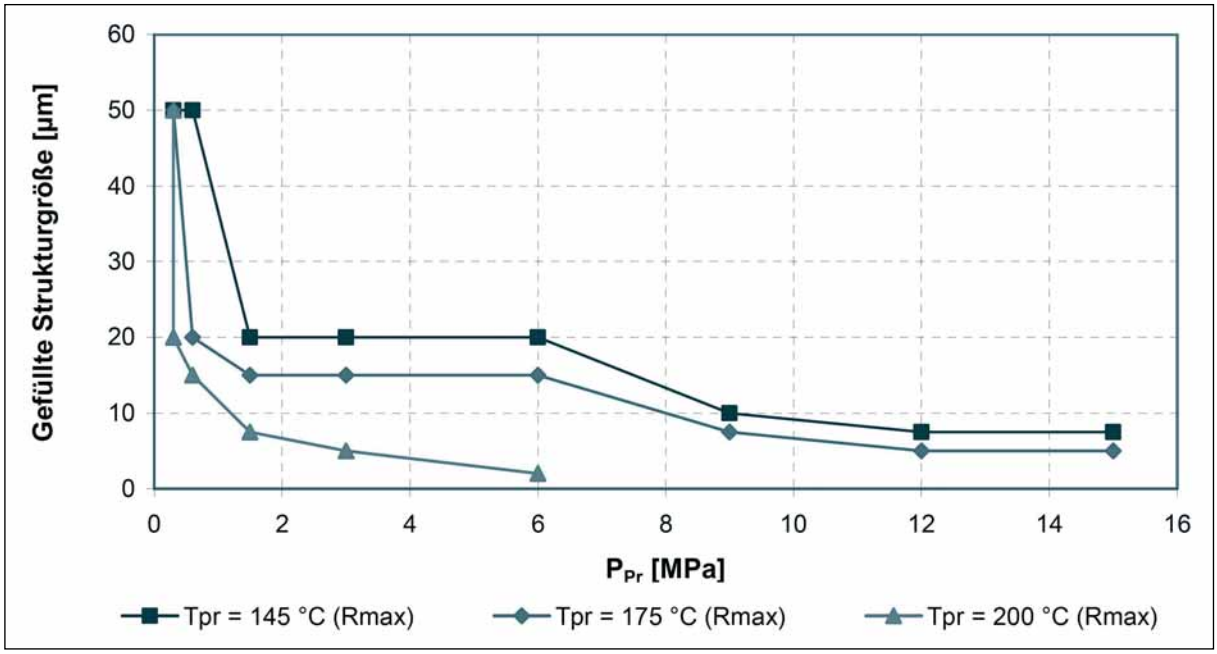


Abb. 5: Formfüllung in Abhängigkeit des Prägedruckes Ppr

Für Strukturen am Rand des Prägewerkzeuges ist der Einfluss des Prägedrucks gravierender. Hier wird die abgeformte Strukturgröße wesentlich verkleinert, wenn der Prägedruck steigt.

Nachdrückzeit
Die Nachdrückzeit hat nur geringen Einfluss auf die Füllung der Mikrokavitäten und damit auf die abgeformte Strukturgröße. Eine Verlängerung der Nachdrückzeit wirkt sich nur geringfügig auf die noch abgeformte Strukturgröße aus, aber die Anzahl der abgeformten Strukturen einer Strukturgröße über die gesamte Fläche des Prägewerkzeuges wird verbessert.

Einflussgrößen auf die Ausbildung der Strukturkanten

Prägetemperatur
Die Strukturkanten werden mit steigender Prägetemperatur wesentlich besser. Bei niedrigen Prägetemperaturen bis 115°C kommt es zur Ausbildung abgerundeter Kanten, d.h. keine exakte Replikation der Werkzeuggeometrie. Unterschiede zwischen den Randbereichen und der Mitte des Werkzeuges fallen mit Abweichungen kleiner 1 µm gering aus. Mit steigender Prägetemperatur wird die fehlerhafte Abbildung abgebaut, Abb. 6. Ab einer Prägetemperatur von 135°C kommt es zu einer fehlerfreien Abbildung der Strukturkanten. Ursache des verrundeten Verlaufs der Strukturkanten ist die verminderte Fließfähigkeit und damit einer mehr plastische Verformung des Kunststoffes, die den verrundeten Verlauf der Kanten hervorruft.

Prägedruck
Auch beim Prägedruck ergibt sich ein ähnliches Bild der Strukturkanten wie bei der Prägetemperatur. Geringe Prägedrücke führen zu einem verrundeten Verlauf der Strukturkanten, vor allem im Randbereich (R_{max}) des Prägewerkzeuges, hervorgerufen durch den charakteristischen Druckverlauf vom Zentrum zum Rand des Werkzeuges. Ab einem Prägedruck von 3 MPa ist keine Veränderung der Abformung der Strukturkanten mehr zu verzeichnen.

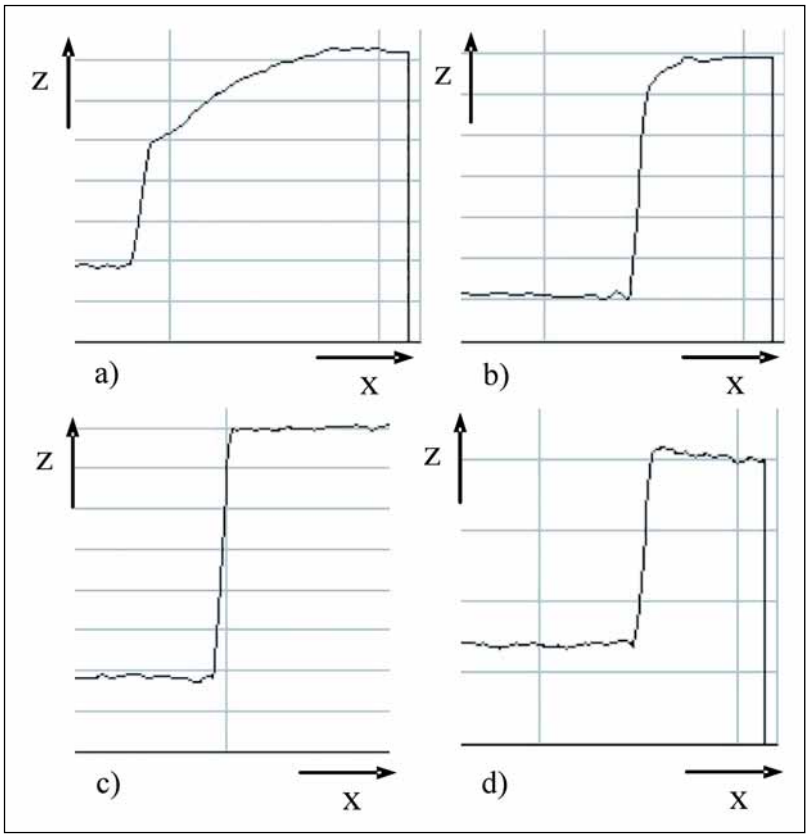


Abb. 6: Temperaturabhängige Ausbildung der Strukturkanten (Querschnitte am Laser-Scanning-Mikroskop) (LSM) a) 115°C, b) 125°C, c) 135°C, d) 255°C

Nachdrückzeit
Die Nachdrückzeit hat keinen Einfluss auf die Ausbildung der Strukturkanten.

Einfluss auf die Formteilschwindung

Für die Prägetemperatur, den Prägedruck, die Nachdrückzeit und die Strukturposition auf dem Werkzeug konnte kein Einfluss auf die Formteilschwindung im untersuchten Bereich ermittelt werden. Die Schwindung liegt im gesamten untersuchten Temperaturbereich von 115°C bis 255°C in der Größenordnung von 2 % in Fließrichtung des Polymers.

Einflussgrößen auf die Gratbildung

Eine Erhöhung der Prägetemperatur führt zwangsläufig durch das bessere Fließen des Polymers zu einer Verringerung der Gratbildung. Während bei einer Prägetemperatur von 205°C der Grat in x-Richtung 4,7 μm und in z-Richtung 2,9 μm betrug, wird bei einer Prägetemperatur von 233°C der Grat in x-Richtung auf 3,9 und in z-Richtung auf 1,3 μm verringert, Abb.7.
Die Ausbildung des Grates ist abhängig von der Fließrichtung des Polymers. Die Polymerschmelze wird durch die vorhandenen Strukturen – die Seitenwände der Strukturen stellen Hindernisse dar – in der Fließrichtung orientiert. Bekommt der Kunststoff nicht die Möglichkeit, in ausreichendem Maße die durch den Prägevorgang angehäuften Spannungen abzubauen, äußern diese sich nach der Entformung in Materialaufwurf – Grat.

Einflussgrößen auf das Entformungsverhalten

Die Entformungstemperatur und der Prägedruck wurden als entscheidende Einflussgrößen ermittelt. Das Optimum für die Entformungstemperatur lag bei den durchgeführten Untersuchungen 5 K unterhalb der Glasübergangstemperatur Tg des Kunststoffes. Eine weitere Absenkung der Entformungstemperatur um 15 K unter Tg führte zu einem Anstieg der Defekte der Strukturen, z.B. Abreißen der Säulenstrukturen durch Aufschwinden des Substrates auf das Prägewerkzeug infolge unterschiedlicher Wärmeausdehnungskoeffizienten. Eine Erhöhung der Entformungstemperatur oberhalb Tg führt ebenfalls zur Verschlechterung der Entformung infolge eines Verzuges der Strukturen.
Eine Erhöhung der Prägetemperatur in unseren Untersuchungen über 230°C führt zu einem erheblichen Anstieg der Defekte, vor allem bei den kleineren Strukturgrößen. Ursache könnte die verstärkte mechanische

Adhäsion zwischen Wand des Werkzeuges und Polymer sein, welches dann nicht mehr im gummielastischen sondern schon im Schmelzzustand vorliegt. Diese mechanische Adhäsion erhöht die erforderlichen Entformungskräfte und führt zum Abreißen der Strukturen.
Die Position der Struktur auf dem Werkzeug (R_{min} oder R_{max}) ist mit von Bedeutung. Mit zunehmender Entfernung der Strukturen vom Werkzeugmittelpunkt nimmt die Zahl der Defekte, z. B. abgerissene Säulen, zu. Dieser Zusammenhang ist aber nur als Trend erkennbar.

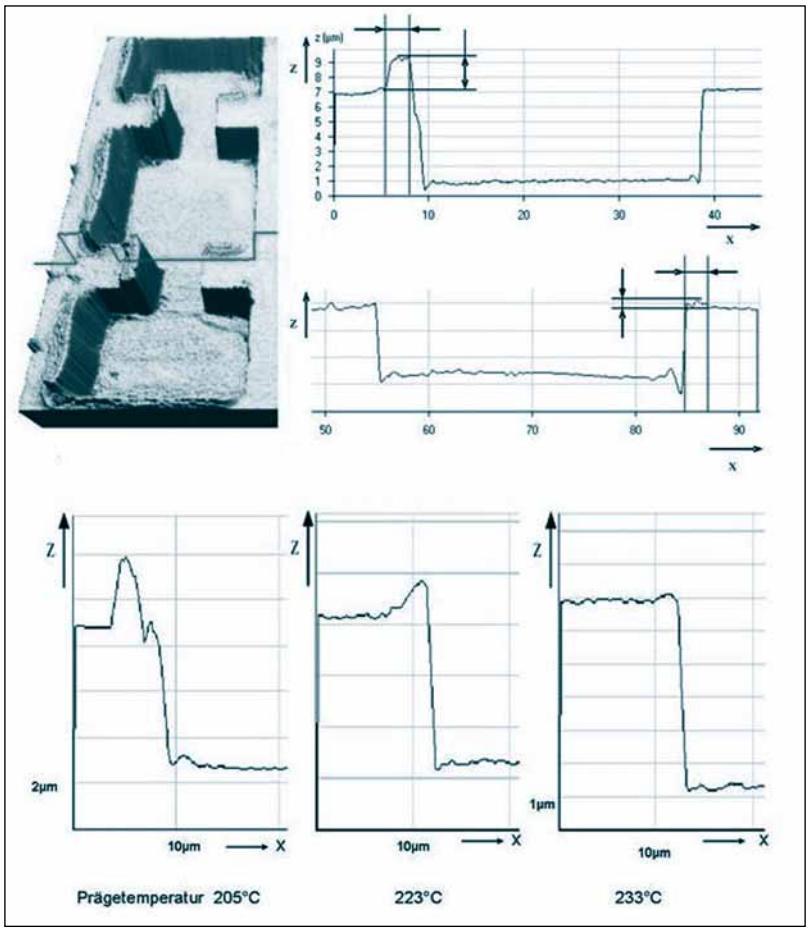


Abb. 7: Gratbildung an den Strukturkanten a) 3-D-Scan am LSM und Vermessung einer Struktur mit starker und schwacher Gratbildung b) Einfluss der Prägetemperatur auf die Gratbildung

Zusammenfassung

In den vorgestellten Versuchen wurden für das Mikroheißprägen von Strukturen ab $2\ \mu m$ mit hohem Aspektverhältnis in PMMA mit einem in LIGA-Technologie hergestelltem Werkzeug die wesentlichen Einflussgrößen auf die Abformqualität ermittelt.
Auf die Formfüllung der Formhohlräume haben im Wesentlichen die Prägetemperatur, der Prägedruck und die Lage der Strukturen auf dem Werkzeug einen Einfluss. In den vorgestellten Versuchen für PMMA konnten ab Prägetemperaturen größer $200°C$ die kleinsten Strukturgrößen von $2\ \mu m$ qualitätsgerecht abgeformt werden. Steigender Prägedruck führt zu einer verbesserten Abformung, wobei in Abhängigkeit von der Lage der Strukturen teilweise eine Verdoppelung des Prägedruckes von 6 MPa auf 12 MPa nur zu einer minimalen Verringerung der qualitätsgerecht realisierbaren Strukturgröße führt. Die Lage der Strukturen auf dem Werkzeug – im Zentrum oder im Randbereich – ist entscheidend für die qualitätsgerechte Abformung minimaler Strukturgrößen. Kleinste Strukturen werden im Zentrum des Werkzeuges mit geringer Prägetemperatur und geringem Prägedruck abgeformt, während im Randbereich noch keine qualitätsgerechte Abformung erfolgt.
Eine weitere Erkenntnis ist die Tatsache, dass eine vollständige Formfüllung der Strukturen in keinem Zusammenhang mit der Eindringtiefe des Formwerkzeuges steht. Auch bei wesentlich erhöhten Eindringtiefen des Werkzeuges von mehreren $100\ \mu m$ ist eine Füllung der kleinsten Strukturgrößen nicht zwingend

gewährleistet. Ähnlich geringfügigen Einfluss auf die Formfüllung hat die Nachdrückzeit. Eine Verlängerung der Nachdrückzeit bis auf 300 s verringert die Ausbildung von Fehlstellen nur um etwa 10 %.
Entscheidend für die Abformqualität auch bei kleinsten Strukturgrößen ist die optimale Kombination von Prägetemperatur und Prägedruck, in unserem Fall 200°C und ein Druck größer 2 MPa.
Die Ausbildung der Strukturkanten wird wesentlich von der Prägetemperatur und dem Prägedruck beeinflusst. Verrundete Strukturkanten sind bei niedrigen Prägetemperaturen bis etwa T_G + 20°C zu erwarten. Schon eine geringe Temperaturerhöhung führt zum raschen Abbau der Verrundung.
Hinsichtlich der Formteilschwindung von PMMA konnten keine signifikanten Einflussgrößen ermittelt werden.
Die Gratbildung an den abgeformten Strukturen wird durch Erhöhung der Prägetemperatur wesentlich vermindert bzw. ganz vermieden.
Die Untersuchung des Entformungsverhaltens der abgeformten Mikrostrukturen zeigt, dass ab etwa 5°C unterhalb T_G eine optimale Entformung für den untersuchten Werkstoff PMMA gewährleistet werden kann. Eine weitere Absenkung der Entformungstemperatur, z.B. 15°C unterhalb T_G führt zu einer wesentlichen Erhöhung der Zahl der Defekte. Prägetemperaturen größer 230°C führten ebenfalls zu einem schlechteren Entformungsverhalten durch Abreißen bzw. Herausreißen der kleinen Strukturen unter 5 μm. Mit zunehmender Entfernung der Strukturen vom Werkzeugmittelpunkt nimmt die Zahl der Defekte bei der Entformung zu. Teilweise wurde beobachtet, dass bei den kleinsten Strukturen unter 5 μm die Anzahl der Defekte vom Zentrum mit 10 % zum Rand hin mit 90 % anstieg.
Mit den optimierten Prägeparametern wurden Referenzobjekte gefertigt, z.B. so genannte Y-Verteiler für Lichtwellenleiter mit Kanalbreiten von 6 μm und 8 μm, Abb. 8.

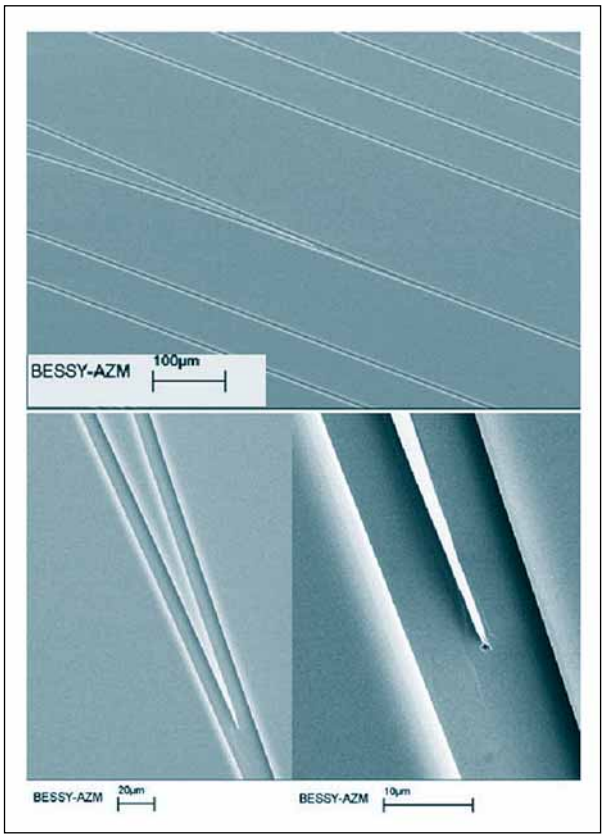


Abb. 8: Referenzobjekt Lichtwellenleiter und Y-Verteiler in unterschiedlichen Vergrößerungen

Literatur

[1] Worgull, M.(2003): Analyse des Mikro-Heißprägeverfahrens, Universität Karlsruhe, Fakultät für Maschinenbau, Dissertation 2003.

[2] Juang, Y.; Lee, L.; Koelling, K. (2002): Hot Embossing in Microfabrication. Part 1: Experimental Polymer-Engineering and Science Vol.42 Nr. 3, S. 539 – 550.

[3] Kalveram, S. (2002): Abgeformte polymere Mikrostrukturen für die optische Informationstechnik, Universität Dortmund, Fakultät für Elektrotechnik, Dissertation.

[4] Dittrich, H. (2004): Werkzeugentwicklung für das Heißprägen beidseitig mikrostrukturierter Formteile, Universität Karlsruhe, Fakultät für Maschinenbau, Dissertation.

[5] Mai, A. (2005): Charakterisierung des Verfahrens Heißprägen zur Abformung von Mikrostrukturen in thermoplastischen Kunststoff; Diplomarbeit TFH Berlin.

Kontakt

Prof. Dr.-Ing Andreas Risse
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Str.10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 2575
E-Mail: arisse@beuth-hochschule.de

Citybank
120 x 180 4C
Platzierung
rechte Seite

Musterverarbeitung in Optimierungsstrategien nach dem Vorbild der biologischen Signaltransduktion

Dipl.-Ing. Michael Dienst Forschungsschwerpunkt: Bionik

Kurzfassung

Evolutionäre Algorithmen basieren auf dem essentiellen Vokabular der biologischen Evolution. Artifizielle Muster sind die Grundlage für Erweiterungen klassischer Strategien hinsichtlich einer Simulation von Wachstum, Differenzierung und Szenarien innerer Selektion. Der Aufsatz stellt ein Konzept für die interne Informationsverarbeitung nach dem Vorbild der biologischen Signaltransduktion dar, nennt die biologischen Grundlagen des Computermodells und gibt eine Implementierung in MATLAB an. Die Forschung zur Simulation artifizieller Evolution ist initiiert und wird begleitet von der BIONIC RESEARCH UNIT, der interdisziplinären und forschungsbezogenen Fachgruppe für Bionik an der Technischen Fachhochschule Berlin.

Abstract

Evolutionary algorithms are founded on the essential vocabulary of biological evolution. Artificial patterns are the basis for extensions of classical strategies in terms of a simulation of growth, differentiation and internal selection. The paper presents an approach to internal information-processing on the model of the biological signaltransfer, also the biological foundations of the computer model and an implementation in MATLAB.

Biologische Optimierung

Das biologische Leben auf unserem Planeten entstand in einer unermesslichen Vielfalt an Form, Gestalt und Funktion. Die Entwicklung der Lebewesen und ihre Anpassung an eine sich wandelnde Umgebung erfolgte in einem komplexen Zusammenspiel zeitlich und örtlich verschachtelter Entstehungs- und Entwicklungsprozesse. Evolution, Individualentwicklung und das Agieren der Wesen in komplizierter Umgebung spannen ein hochdimensionales, auf verschiedenen Prozessebenen ineinander verschränktes Szenario auf. Die Gepasstheit biologischer Wesen und ihre bis an die Grenzen des physikalisch Möglichen optimierten Formen und Funktionen, sind ein Motiv vieler Ingenieure die Mechanismen der biologischen Entwicklung als eine Methode zu verstehen, die auch zur Konditionierung künstlicher Systeme taugt. Evolution ist, auf einer abstrakten Ebene betrachtet, die Entwicklung der unbelebten und belebten Natur aus ihren innewohnenden Gesetzmäßigkeiten heraus. Es ist ein Schema mit diskretem Repertoire und Vokabular erkennbar (Abb.1). In diesem Sinne darf die biologische Evolution als eine Strategie verstanden werden, die im Laufe von Milliarden Jahren nicht nur die Form, Gestalt und Funktionen rezenter Lebewesen hervorgebracht, sondern auch sich selbst immer weiter optimiert hat.

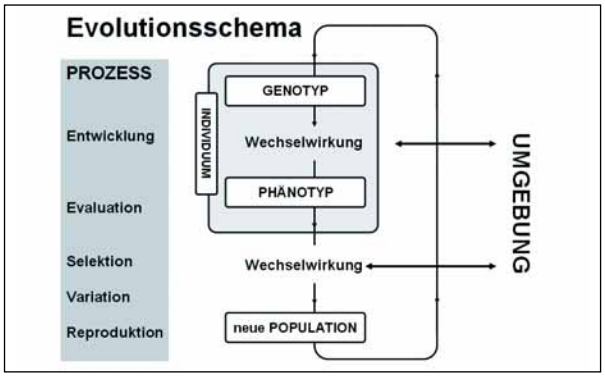


Abb 1.: Evolutionsschema

Artifizielle Optimierung

Evolutionsstrategien (ES) und Genetische Algorithmen (GA), die bekanntesten Strategieansätze unter den Evolutionären Algorithmen (EA), arbeiten mit dem essentiellen Vokabular der biologischen Evolution (Tab. 1) [Rec 94], [Sche 85], [Schw 95]. Evolutionäre Algorithmen wenden das Evolutionsschema auf mathematisch

modellierbare Optimierungsaufgaben an. In einem einfachsten Szenario werden zunächst Kopien eines artifiziellen Startsystems erstellt (Mutation).

(1,λ) EVOLUTIONSSTRATEGIE				
	PROZESS		PARAMETER	GENERATION
1	Reproduktion	bester Nachkomme	Vb	G – 1
2		ein Elter	Ve	G
3	Variation	m Nachkommen	Vm = VAR (Ve)	G
4	Evaluation		Q(vm) = max	G
5	Selektion	bester Nachkomme	Vb	G

Tab. 1: Klassische Evolutionsstrategie

Zufällige Modifizierungen führen auf eine Schar von Varianten des Elter-Systems (Variation). MUTANTEN und ELTER bilden ein gemeinsames Selektionsensemble. In jeder Generation werden alle Variationen des aktuellen Elter mittels einer Zielfunktion bewertet und die Qualität aller Systeme ermittelt. Aus der Schar bewerteter Systeme wird ein neuer, aktueller Elter für die folgende Generation erwählt (Selektion). Mit der Variation dieses Elter-Systems setzt sich die Kampagne fort. Auf diese Weise steigt die Qualität des Ensembles von Generation zu Generation, bzw. fällt nicht hinter die des aktuellen Elter zurück. Evolutionäre Algorithmen, als lokale Suchverfahren für komplexe, hochdimensionale Qualitätenräume, untersuchen den Phänotyp eines Zielsystems und somit das „äußere Evolutionsgeschehen“ [Kah 91]. Der Code Evolutionärer Algorithmen ist sehr kompakt. In Abb. 2 ist eine Implementierung einer (1,l)-Evolutionsstrategie in MATLAB dargestellt. Mit dem Grad der Nachahmung der biologischen Evolution nimmt die Güte der Optimierungsleistung der Algorithmen zu [Kos 03], [Her 00], [Her 05], [Cur 01].

```
function e=TR_Evo(Gen,Mu,dim);                          // Transduktions-(1,L)-ES m. globaler SW
clear all;  gfreq=10; count=0;                          // reset
d=1e-6; alfa = 1.3;              db =d;  de =d;  dm =d; // Schrittweite
qsto=zeros(1,Gen); q=1e30;       qb =q;  qe =q;  qm =q; // Qualität
v= MUSTER_002(dim,10,5);         vb= v;  ve= v;  vm =v; // StartMuster
                                 vtr= v;  buff= v;      // Hilfsvariablen
 for g=1:Gen                                            // Gen..begins
  for m=1:Mu                                            // Mu..begins
    z0=rand(dim,1,'normal' );                           // nvert.ZZ ;
    if rand()<.5, dm=de/alfa; else dm=de*alfa; end;     // Schrittweitensteuerung
    vm=ve+( dm* z0' );                                  // Mutation
    vtr = real(fft(vm));                                // Transduktion:
    buff= nofDim(vtr,10);                               // Auswahl von Spektralkomponenten
    qm = Line(buff);                                    // Qualität
    if qm<qb,qb=qm;vb=vm;db=dm; end;                    // Elektion
  end;                                                  // Mu..ends
  qe=qb; ve=vb; de=db;  qsto(g)=qe;                     // Erben
  Eval_SHO(dim,ve,g,Gen,qsto); end;                     // Zeigen
 end;                                                   // Gen..ends
 e=qb;                                                  // eval Fu
endfunction;
```

Abb. 2. Implementierung einer musterbasierten Evolutionsstrategie mit Transduktionskern in MATLAB. (Die Erweiterungen des Codes gegenüber einer Standard-ES sind farblich hervorgehoben.)

Der biologische Gestaltaufbau

Biologische Systeme besitzen die Fähigkeit ihre komplexe Struktur in jedem Generationenzyklus neu aufzubauen. Auf allen Organisationsebenen tauchen phänotypische Variationen von Struktur und Funktion auf, deren Ursachen die Veränderungen der genetischen Informationen sind. Die Expression des Genotyps in einen Phänotyp ist ein komplexer, vielstufiger Prozess der Translation und Interpretation des genetischen Materials in funktionsstiftende Zellbausteine [Nüs 07]. Die grundlegende Information zum biologischen Gestaltaufbau ist in der DNS gespeichert und die organisatorische Basis jeglicher morphogenetischer Vorgänge der Entwicklung der Lebewesen. Zellen gewinnen auf diese Weise Positionsinformationen aus den chemischen

Vormustern, den morphogenetischen Gradienten; dies ist von entscheidender Bedeutung für die Entstehung komplexer Muster und Gestalt bei der evolutionären Entstehung morphologischer Strukturen während der Embriogenese. Gewebe und Organe müssen im gesamten zeitlich-räumlichen Kontext des biologischen Funktions- und Gestaltaufbaus eines Lebewesens funktionieren. Einerseits unterliegt das innere Milieu des Wesens einer permanenten funktionalen Bewertung, die kausal gekoppelt ist mit der Gepasstheit des exprimierten Organismus im Habitat. Diese besitzt einen entsprechenden positiven Selektionswert, der über die Verbreitung der genotypischen Variante in der Population entscheidet. Die Bildung einer funktionellen „inneren" Struktur folgt auch solchen organismusspezifischen Bedingungen, die von äußeren Umwelteinflüssen unabhängig sind.

Konzept einer musterunterstützten Optimierungsstrategie

Die Mechanismen der Selektion in herkömmlichen Optimierungsstrategien zielen ausschließlich auf den Phänotyp des Artefakten. Funktion und Gestalt des artifiziellen Systems werden zur Ermittlung der Systemqualität evaluiert. Gegenstand der Variation sind die beschreibenden Parameter des zu untersuchenden Systems. Für Optimierungsstrategien, die ein Modell innerer Selektion nach dem Vorbild der Entwicklungsprozesse lebendiger Organismen simulieren, erscheint es vorteilhaft, das Rahmenschema der biologischen Evolution als Bestandteil der Strategie zu übernehmen und gleichzeitig eine Modellvorstellung zu erarbeiten, deren Zentrum eine hierarchisch staffelbare, innere Informationsverarbeitung darstellt. Der hier vorgestellte Lösungsansatz ist im Sinne einer auf der Basis artifizieller Muster arbeitenden, algorithmischen Plattform für klassische Evolutionsstrategien konzipiert, auf der Wachstums- und Differenzierungsszenarien stattfinden, eine Konsolidierung von Informationen über die Entwicklungsvergangenheit möglich ist und Mechanismen innerer Selektion eine Konditionierung des Gesamtsystems simulieren können. Das Motiv für eine derartige, algorithmische Plattform ist die Fähigkeit von (biologischen) Mustern, aus einem „einfachen" Anfangssignal und unter Verwendung (globaler) Information „komplexe Endzustände" zu entwickeln. Hierzu wurden in der Vergangenheit Algorithmen entwickelt (Genesetransformation), die Muster verarbeitende Prozesse der biologischen Embriomalgenese simulieren [Die 05], [Die 06]. Es kann gezeigt werden, dass die Charakteristiken der Genesetransformation unter Selektionsdruck adaptieren und somit dieses Modell geeignet erscheint, Grundlage für Optimierungsstrategien mit „innerer Selektion" zu sein [Die 07]. Es wird nun das äußere Kalkül einer musterunterstützten Optimierungsstrategie vorgestellt (Tab. 2). Die Qualitätsermittlung findet weiterhin auf der Ebene des (technischen) Phänotypen statt, die Variation im Sinne des Evolutionsschemas erfolgt auf der Ebene der artifiziellen Vormuster. Diese Vormuster repräsentieren später das Erzeugendensystem des Artefakten.

(1,λ) EVOLUTIONSSTRATEGIE mit TRANSDUKTION					
	PROZESS		**PARAMETER**	**MUSTER**	**GENERATION**
1	Reproduktion	bester Nachkomme		Mb	G – 1
2		ein Elter		Me	G
3	Variation	m Nachkommen		Mm=VAR(Me)	G
4	Transduktion		Vm = T (Mm)		G
5	Evaluation		Q(Vm) = max		G
6	Selektion	bester Nachkomme		Mb	G

Tab. 2: Transduktionsstrategie

Funktion und Gestalt des Systems werden über die Systemparameter bestimmt. In Modellrechnungen sind die Systemparameter mit den sogen. Objektvariablen des Modellsystems identisch. Objektvariablen, respektive Systemparameter stellen den artifiziellen Phänotypen und seine (System-)Eigenschaften dar und sind, in Analogie zu den klassischen Optimierungsschemata GA und ES, einer Evaluation zugänglich.

Biologische Transduktion

Das Modell eines artifiziellen Vormusters gestattet mit den Mitteln einer (systeminneren) Signalverarbeitung, Systementwicklungsvorgänge und Prozesse zu simulieren, wie sie bei der biologischen Ontogenese auf der Ebene chemischer Vormuster beobachtet werden. Es zeigt sich, dass dafür der Übergang von Muster-basierten Informationen auf Parameter-basierte Informationen explizit modelliert werden muss. In der Biologie werden mit „Signaltransduktion" Prozesse bezeichnet, mit denen Zellen auf (äußere) chemische Reize reagieren, sie

umwandeln und in das Innere der Zelle weiterleiten. Die Organisation jener örtlich verteilten lokalen Signale, die eine ortsabhängige Zelldifferenzierung bewirken, sind als sich räumlich-zeitlich verändernde dreidimensionale Muster von Stoffkonzentrationen darstellbar. Kennzeichnend für den biologischen Gestaltaufbau ist, dass Inhomogenitäten in der Stoffverteilung aus gleichmäßig verteilten Ausgangsmustern entstehen können.

Konzept einer artifiziellen Signaltransduktion

Das markanteste Merkmal des biologischen Signalübermittlungsvorgangs ist die gleichzeitige Existenz eines graduell, räumlich verteilten Signals und eines fest verorteten, diskreten Signalereignises. Mit dem Übergang von einer hierarchischen Organisationsstufe zur nächsten wird dieselbe Information aus zwei Blickrichtungen betrachtet: Das Muster und das vom Muster ausgelöste Differenzierungsereignis tauchen als zwei Erscheinungsformen der gleichen Information auf. Eine Modellierung der biologischen Transduktion führt nahezu unmittelbar auf die Darstellung der Koexistenz eines kontinuierlichen Musters und dessen diskreten Intensitätsspektrums. Mathematisch gesehen bedarf es lediglich einer (möglichst reversiblen) Abbildung. Fouriertransformationen leisten eine Abbildung von einem gegebenen Wertebereich in den Spektralbereich. Sie ist das methodische Konstrukt eines Transduktionskerns im Konzept der Muster verarbeitenden Optimierungsstrategie. Im Innern der Strategie wird das Muster dann „bespielbar“, eine wichtige Voraussetzung für zukünftige Implementierungen, bei denen es möglich sein soll, das endogene Evolutionsgeschehen und eine innere Repräsentation des vieldimensionalen Qualitätsgebirges darzustellen. Diese endogene Repräsentationsplattform ist Gegenstand rezenter Forschung an der TFH Berlin. Mit dem Transduktionsmodell wird eine Übergangsbedingung geschaffen, die den Informationstransfer von einer inneren, endogenen Welt der Muster in die Parameterwelt der Objektvariablen leistet. Der Code einer Muster-basierten Optimierungsstrategie ist sehr einfach und besteht aus nur wenigen Programmzeilen. Abb.2 zeigt eine Implementierung einer $(1,\lambda)$-Evolutionsstrategie mit Transduktionskern in MATLAB.

Literatur

[Curb 01] Manfred Curbach; Harald Michler; Holger Flederer; Dirk Proske (2001): Anwendung von Quasi-Zufallszahlen bei der Simulation unter ANSYS. 19th CAD-FEM Users' Meeting 2001 October 17-19, International Congress on FEM Technology. Berlin, Potsdam.

[Die 05] Dienst, M. (2005): Genesetransformation. Ein Algorithmus zur Synthese von Signalen nach dem Vorbild der biologischen Musterbildung. In: Forschungsberichte 2005 der TFH Berlin, S. 190-193.

[Die 06] Dienst, M. (2006): Eine Optimierungsumgebung für Genesetransformationen. In: Forschungsberichte 2006 der TFH Berlin, S. 115-117.

[Die 07] Dienst, M. (2007): Genesetransformation. Adaption der Transformationscharakteristiken. In: Forschungsberichte 2007 der TFH Berlin, S. 166-171.

[Her 00] Herdy, Michael (2000): Beiträge zur Theorie und Anwendung der Evolutionsstrategie. Mensch und Buch Verlag, Berlin.

[Her 05] Herdy, Michael (2005): Anwendung der Evolutionsstrategie in der Industrie. In: Evolution zwischen Chaos und Ordnung. S. 123 – 138. Freie Akademie Verlag, Bernau.

[Kah 91] Kahlert, J. (1991): Vektorielle Optimierung mit Evolutionsstrategien und Anwendungen in der Regelungstechnik. VDI Verlag, Reihe 8 Nr. 234.

[Kos 03] Kost, Bernd (2003): Optimierung mit Evolutionsstrategien. Harri Deutsch Verlag, Frankfurt a. M..

[Mef 04] Meffert, B.; Hochmut, O. (2004): Werkzeuge der Signalverarbeitung. Pearson-Studium, München.

[Nüs 07] Nüsslein, Vollhard (2007): Warum Tiere so verschieden aussehen. In: Vom Urknall zum Bewusstsein, Verhandlungen der GDNÄ, 124. Tagung. Bremen 2006 Georg Thieme Verlag, Stuttgart.

[Rec 94] Rechenberg, Ingo (1994): Evolutionsstrategie. Frommann Holzboog Verlag Stuttgart-Bad Cannstatt.

[Sch 85] Scheel, Armin (1985): Beitrag zur Theorie der Evolutionsstrategie. Dissertation, TU Berlin.

[Sch 95] Schwefel, H.-P. (1995): Evolution and Optimum Seeking. John Wiley & Sons. New York.

Kontakt

Dipl.-Ing. Michael Dienst
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Str. 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 2009
E-Mail: midienst@beuth-hochschule.de

Verkehrs- und Energiesicherheit als Grundlage für die nachhaltige Entwicklung der zentralasiatischen Länder

Kubatbek Muktarbek uulu, Prof. Dr.-Ing. Hans-Dieter Kleinschrodt
Forschungsschwerpunkt: Energieressorcenmanagement

Kurzfassung

In dem vorliegenden Beitrag werden nachhaltige Alternativen für Verkehr und Energie in Zentralasien aufgezeigt und miteinander verglichen. Am Beispiel Kirgisiens werden konkrete Verbesserungsvorschläge exemplarisch diskutiert.

Abstract

This article discusses alternative ways of improving transport and generating energy under sustainability considerations in Central Asia. It compares situations in all Central Asian regions and their respective problems. Kyrgyzstan serves as an example of how to solve energy and transport problems.

Einleitung

Die Entwicklung des Verkehrssektors ist von großer Bedeutung für Kirgisien und macht derzeit ca. 5% des Bruttoinlandsprodukts und ca. 3% der Gesamtbeschäftigung aus. Aus der Zeit der Sowjetunion stammt ein komplexes Verkehrsnetz.
Der Erfolg im internationalen Handel, vor allem mit den Ländern Mittel-Asiens hängt nicht nur von ihrem eigenen Transport-Sektor, sondern auch von der gegenseitigen Akzeptanz der Verkehrsmittel benachbarter Republiken ab. Keines dieser Länder hat einen Zugang zum Meer und wer den Seeweg nutzen will, benötigt die benachbarten Länder zum Transit. Defizite im Verkehrssektor in einem zentralasiatischen Land haben dadurch Auswirkungen auf die Verkehrssituation der benachbarten Länder. Dies erklärt weitgehend hohe Transportkosten und die unberechenbare Durchreise durch benachbarte Länder.
Die vorliegende Arbeit untersucht den Verkehrssektor in Zentralasien und die Defizite der Verkehrsinfrastruktur. Die vorgeschlagenen Verbesserungen könnten für die regionale Zusammenarbeit im Verkehrssektor und auch als mögliche Initiativen in diesem Bereich gelten.

Hauptteil

Trotz der bestehenden administrativen Grenzen zwischen den ehemaligen Sowjetrepubliken wurde ein engmaschiges Straßen- und Schienennetz großzügig ausgebaut, mit der Hauptausrichtung auf die Russische Föderation. Zur gleichen Zeit waren die Verkehrsverbindungen mit anderen Ländern wie Afghanistan, China, Indien, Iran, Pakistan und der Türkei überwiegend in sehr schlechtem Zustand oder schlecht entwickelt [ADB 06]. Kasachstan ist ein Transitland für den Handel zwischen Aserbaidschan, China und Kirgisien (Abb. 1). Kirgisien und Tadschikistan sind Transitländer für den Handel zwischen Usbekistan und China. Usbekistan ist ein Transitland für den Handel zwischen Kasachstan, Iran und zwischen Tadschikistan und der Russischen Föderation [ADB 06].
Mit finanzieller und technischer Unterstützung der Asiatischen Entwicklungsbank (ADB) werden in zentralasiatischen Ländern mehrere Straßenprojekte durchgeführt, die deutlich verbesserte Verkehrsanbindungen zwischen dem Osten und Westen Asiens bieten. Diese Verkehrswege binden Asien und Europa aneinander und verbessern unmittelbar die wirtschaftliche Situation der Transitländer. Entsprechende Projekte umfassen die Sanierung der Straßen von Tadschikistan nach Kirgisien und von Kirgisien nach Kasachstan [ADB 06]. Zur gleichen Zeit haben die zentralasiatischen Länder vielen neuen Bahngesellschaften die Durchreise durch benachbarte Länder verweigert. Die Entstehung der nationalen Grenzen nach 1990 zog erhöhte Kosten und Zeitaufwendungen für den Transport und Transit nach sich. Um den Süden von Kirgisien mit dem Norden zu verbinden, ohne dass dies Transitauswirkungen auf das Gebiet von Usbekistan hat, modernisierte die Kirgisische Republik für rund 12 Millionen US-Dollar die Straßen. Usbekistan seinerseits verband die Orte Uchkuduk – Karauzak – Karauzak für mehr als 10 Millionen US $ mit einer Eisenbahnstrecke und Buchara mit Nukus über Navoi, mit einer Straße die nur ein kurzes Stück barrierenfrei durch Turkmenistan führt.
Es ist noch unklar, in wieweit diese neuen Wege und Eisenbahnen, die einen wesentlichen Beitrag zur Entwicklung der Länder Mittelasiens leisten, die hohen Baukosten rechtfertigen. Wenn die Nachbarn keine

künstlichen Hindernisse schaffen, wäre es viel besser und billiger in die Wiederherstellung und den Erhalt der bestehenden Verkehrsnetze zu investieren.

Abb. 1: Zentralasien und Kaukasus [Map 03]

Die zentralasiatische Region hat jetzt umfangreiche Verkehrsnetze. Der transkontinentale Eisenbahn- und Straßenverkehr bildet Korridore zu den benachbarten Ländern und damit zum Rest der Welt. Diese aus der Sowjetunionzeit stammenden Korridore, sind aber in einem miserablen Zustand, der sich nach dem Zusammenbruch der Sowjetunion noch weiter verschlechtert. Nur ein kleiner Teil der zentralasiatischen Strecken, erfüllt die von den Vereinten Nationen (ESCAP) aufgestellten Kriterien als „first class“, ein größerer Teil der Straßen gilt jedoch als „third class“, und somit als sehr schlecht. Zum Beispiel meinen die Experten in der Kirgisischen Republik, dass nur 25% der gesamten Straßeninfrastruktur in einem normgerechten Zustand ist; in Tadschikistan sind es nur 20% der Straßen. Die Gründe dafür sind Geldmangel und schlechte Wartung, veraltete sowjetische Standards, die den heutigen Erfordernissen und Standards für den modernen LKW-Verkehr nicht mehr entsprechen sowie niedrige Qualität der Dienstleistungen.
Aus der Analyse der oben beschriebenen Situation können die beschriebenen Missstände der Länder Mittelasiens nur durch Zusammenarbeit mit benachbarten Ländern überwunden werden. Dabei sollte jedes Land seine spezifischen Stärken einbringen. So stammt beispielsweise aus den Bergen Kirgisiens mehr als 40% des Wassers im zentralasiatischen Raum. Dies ermöglicht Stromgewinnung aus Wasserkraftwerken. Bereits während der Sowjetunion wurden leistungsfähige Kaskaden (Abb. 2 und Abb. 3) von Wasserkraftwerken gebaut [Kac 99].
Auf Grundlage der Tab. 1 bieten sich Investitionen in öffentliche Verkehrsmittel mit Elektromotoren an, sowohl in Kirgisien (Abb. 4) als auch in ganz Zentralasien. Mit der preiswerten und sauberen Quelle für elektrische Energie, der Wasserkraft, wäre Zentralasien in der Lage, einen nennenswerten Beitrag zur Reduktion der globalen Erwärmung, einem der großen Probleme des 21. Jahrhundert, zu leisten.

Abb. 2: Toktogulwasserkraftwerk, größtes Kraftwerk in Kirgisien mit 1,2 Gigawatt

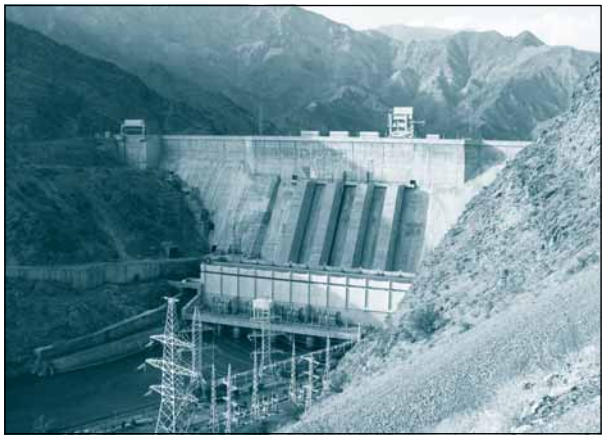


Abb. 3: Kurpsai Wasserkraftwerk, zweigrößtes Kraftwerk mit 800 Megawatt

Abb. 4: Erneuerungsbedürftiges öffentliches Verkehrsmittel mit elektrischem Antrieb

1	Maximal gemessene Volumenstrom	2850 m3/s
2	durchschnittlicher Volumenstrom	426 m3/s
3	durchschnittliche Wassermenge pro Jahr	13,6 Milliarden m3
4	beobachtete Spannweite im Jahresabfluss von bis	 8,5 Milliarden m3 21,3 Milliarden m3
5	wirtschaftliches Potenzial pro Jahr	48 Milliarden kWStd

Tab. 1: Wichtigste hydrologische Eigenschaften des Naryn Flusses [Kac 99]

Die Auswirkungen der globalen Erwärmung bedrohen mit trockenem Klima besonderes Zentralasien, was bereits in den letzten Jahren spürbar war. Da der Ausstoß von CO_2 bei Personenkraftwagen eine wesentliche Ursache der Luftverschmutzung ist, wäre die Entwicklung der Verkehrsinfrastruktur mittels elektrischer Energie aus Wasserkraft, die bisher nur zu ca. 10% ausgebeutet wird, eine tragfähige Lösung. Alle zentralasiatischen Länder sollten verstehen, dass nur in Zusammenarbeit aller Staaten vernünftige Lösungen zur Entwicklung der Region erreichbar sind.
Energieeinsparung und Effizienz sind wesentliche Elemente einer nachhaltigen Entwicklung. In Zentralasien haben der Zerfall der alten zentralisierten Energiesysteme und die konstante, schrittweise Anhebung der Preise für Energie zu schwerwiegenden sozialen und wirtschaftlichen Problemen geführt, vor allem für die Bewohner der abgelegenen Bergdörfer. In den ländlichen Gebieten erreicht der Energieverlust durch ungenügende Isolierung von privaten Häusern und öffentlichen Gebäuden bis zu 60%. Dies hat zur Folge, dass in ländlichen Gebieten über 50% der Energie in privaten Haushalten für die Heizung der Häuser aufgewendet wird. Ein weiterer Grund ist die niedrige Effizienz der Heizgeräte (z.B. mit Strom, Kohle, Holz, Dung, etc.) Angesichts der derzeitigen wirtschaftlichen Lage, sind viele Haushalte gezwungen, ihre eigenen Brennstoff-Ressourcen, getrockneten Mist (im Durchschnitt bis zu 3 Tonnen pro Haushalt für eine Heizsaison) zu verbrau-

chen, was zu einem Rückgang der Bodenfruchtbarkeit führt infolge mangelnder Düngung. Außerdem trägt die Abholzung der Bäume und Wälder zur Bodenerosion bei. Diese Prozesse führen dazu, dass die Emission von Kohlendioxid in die Atmosphäre den Kreislauf der natürlichen Ressourcen zerstört und speziell das Mikroklima und die globale Erwärmung negativ beeinflusst. Folglich ist die Effizienz der Energienutzung auf verschiedenen Ebenen das wichtigste Thema in Zentralasien für die örtliche Bevölkerung mit Einfluss auf die Verbesserung der Gesundheit, Einsparungen im privaten Haushalt, geringere Arbeitsbelastung von Frauen und Kindern und Entlastung der Umwelt.
Derzeit gibt es in Kirgisien keine Anforderungen, Standards und Anreize für Energieeinsparungen. Deshalb ist die Einsparung von Energie, vor allem durch die Wärmeisolierung von Häusern, eine der wichtigsten staatlichen Aufgaben. Alle neu geplanten Häuser sollten nur noch mit modernen Energie-Effizienz-Standards genehmigt werden. Für die nachträgliche Isolierung bestehender Häuser müssten Anreize in Form von Förderungen geschaffen werden. Der Bevölkerung gegenüber gilt das Argument, dass die für die Isolierung investierten Mittel sich schnell amortisieren.

Zusammenfassung

Eine nachhaltige Entwicklung der Region ist in Zusammenarbeit der zentralasiatischen Staaten durch folgende Maßnahmen zu erreichen:

- Verbesserung der Verkehrsinfrastruktur durch Instandsetzung und Modernisierung von Straße, Bahn und Luftverkehr für den Fernverkehr und Transit.
- Öffentliche Verkehrsmittel sollten weitestgehend elektrisch angetrieben werden.
- Energieeinsparungen durch Wärmeisolierung und effiziente Heizsysteme für Gebäude sind zu fördern.

Literatur

[Кас 99] Каскад Токтогульских ГЭС. Бишкек: АО «Кыргызэнерго», 1999. -15 с.

[Map 03] Map produced by the U.S. Central Intelligence Agency, Retrieved January 18, 2009 from http://www.lib.utexas.edu/maps/commonwealth/caucasus_cntrl_asia_pol_2003.jpg [Stand: 12.09.2009].

[ADB 06] ADB 2006, Central Asia: Increasing Gains from Trade Through Regional Cooperation in Trade Policy, Transport, and Customs Transit, Chapter 5, Transport Sector in Central Asia, Retrieved July 5, 2007 from http://www.adb.org/Documents/Reports/CA-Trade-Policy/chap5.pdf [Stand: 12.09.2009].

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Hans-Dieter Kleinschrodt
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Str. 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 5454
E-Mail: kleinsch@beuth-hochschule.de

Unternehmenskultur und Prozessdisziplin in komplexen Produktionssystemen: Ein Schlüssel zur Nachhaltigkeit

Prof. Dr.-Ing. Nicolas P. Sokianos Forschungsschwerpunkt: Produktionssysteme

Kurzfassung

In den letzten fünf Jahren ist im Kontext der Einführung ganzheitlicher Produktionssysteme, die sich an dem Vorbild „Toyota Produktions-System“ (TPS) orientieren, eine regelrechte „Schule“ entstanden. Eine Führungsrolle hat hierbei die Automobil- und die Automobilzulieferer-Industrie. Ein wesentliches Merkmal dieser Branche ist der Zwang zur hohen Pro-duktivität bei äußerst geringen Ausschußraten, die sich in niedrigen, zweistelligen Parts-per-Million-Raten (ppm) bewegen dürfen. Bei der Erreichung dieser sehr anspruchsvollen Ziele spielen nach den Forschungsergebnissen des Autors die Unternehmenskultur und Prozessdisziplin eine herausragende Rolle.

Abstract

In the last five years many companies implemented so called Production Systems, most of them following the famous Toyota Concept called Toyota Production System (TPS). The automotive industry has taken the lead. Productivity, quality and efficiency based on the TPS concept improved a lot but the target of having little ppm male functions is very difficult to achieve and to maintain. According to the findings of the research, process discipline and company culture are decisive in reaching the goals set.

Die Forschungsfrage

Komplexe Netze produzierender Unternehmen, die in mehrstufige Kunden-Lieferanten-Beziehungen organisiert sind, stellen in der Automobil- und in der Zulieferindustrie sehr anspruchsvolle Forderungen an Effizienz und Organisation. Diese Erkenntnis ist nicht neu. Neu ist jedoch die Erkenntnis, dass derartige Kunden-Lieferanten-Netze an die Grenzen ihrer Leistungsfähigkeit stoßen. Das wird z.B. darin sichtbar, dass Lieferanten nicht mehr profitabel operieren können oder gar angesichts der Forderungen ihrer Kunden bezüglich Preisreduktion bei gleichzeitiger Qualitätsverbesserung verbunden mit sehr kostspieliger Administration und Dokumentation insolvent werden, wenn gleichzeitig belastende finanzielle Faktoren auftreten. Umsatzrenditen in der Größenordnung von 4% oder auch niedriger, verbunden mit einer relativ geringen Eigenkapitalquote (kleiner 20%), stellen ein Problem dar: Die Krisenresistenz dieser Unternehmen ist nicht besonders stark ausgeprägt, eine drastische Reduzierung des Absatzes, wie ab Oktober 2008 (20% - 30%), führt zunächst zur Freisetzug von Zeitarbeitskräften, dann zur Kurzarbeit und im Folgenden zu Entlassungen. Die Forschungsfrage, die vom Autor in einem Zeitraum von ca. zwei Jahren behandelt worden ist, lautet: Welche Faktoren unterscheiden die besseren Produktionssysteme von den weniger guten?

TPS als konzeptioneller Rahmen

Der Rahmen, der für diese Untersuchung verwendet wurde, stellt das Toyota Produktionsystem (TPS) dar. Der Autor hat in einem abgestuften, mehrphasigen Vorgehen sowohl durch seine früheren Forschungsaufenthalte in Japan die entsprechenden Produktionssysteme von Original Equipment Manufactures (OEM) studieren können, als auch die einiger Lieferanten von OEM. Weitere Forschungsergebnisse sind aus Fachkontakten zu TOYOTA (F1), zu BOSCH und zu MERCEDES sowie zu KNORR BREMSE in Deutschland gewonnen worden.

Entwicklung eines Audit-Verfahrens

Damit die empirische Forschung auch handhabbar werden konnte, ist vom Autor ein eigenes Auditverfahren für produzierende *Unternehmen im Produktionsverbund* entwickelt worden, das aus neun Themenkomplexen besteht. Dieses Verfahren ist in einer Validierungsphase mit zwei mittelständischen Unternehmen überprüft und punktuell verbessert worden. Die besondere Schwierigkeit bestand darin, ein Verfahren zu entwickeln, das deutlich einfacher in der Handhabung ist als ein Audit nach dem ISO TS 16949 Verfahren, das in der Automobilindustrie den Standard setzt (jedoch nur in Bezug auf Qualitätsmanagement). Eine weitere wesentliche Anforderung bestand darin, dass der Fokus des Audits nicht nur auf Qualitätsfragen (wie bei ISO TS

16949) liegen sollte, sondern auf dem **gesamten Produktionssystem** (bzw. das Dienstleistungssystem) des Unternehmens mit seiner Einbettung in das **Kunden- und Lieferanten-Netzwerk**.
Diesem Verfahren liegt ein systemischer Ansatz zugrunde, der auf komplexe Systeme wie z.B. Netzwerke anwendbar ist. Das neu entwickelte Auditverfahren wurde aus urheberrechtlichen Gründen (zwecks besseren Schutzes des geistigen Eigentums) als Wortmarke auf Kosten des Autors beim Deutschen Patent- und Markenamt angemeldet.

Weitere konzeptionelle Ansätze

Parallel zu der eigenen Entwicklung wurde das Konzept der **„Robusten Produktion“** des VDA (Verband Deutscher Automobilindustrie) studiert, das eine ähnliche Zielrichtung verfolgt. Es wurde festgestellt, dass das VDA-Konzept sehr umfangreich ist und somit sehr große Schwierigkeiten in der Operationalisierung verursacht. Ein weltweit erfolgreiches Konzept der ganzheitlichen Unternehmensführung haben in den USA Norton und Kaplan mit ihrer **Balanced Scorecard** (BSC) entwickelt und vermarktet. Es gibt eine selektive Überlappung zwischen meiner Forschungskonzeption und der der o.g. amerikanischen Forscher und Berater. Meine Zielrichtung ist auf die Produktion im Netzwerk fokussiert, während das BSC-Konzept auf das gesamte Unternehmen zielt. Ich hatte mich in bereits durchgeführten Forschungsarbeiten [SOK 04] mit der BSC befasst und eine fehlende Perspektive (die der Lieferanten-Einbindung) festgestellt, also die fünfte Perspektive, daher auch der Name meiner Methode **Pentagon Scorecard**. Es war mir auch möglich, mich im Rahmen einer Video-Konferenz-Schaltung in Stuttgart mit Robert Kaplan hierzu zu unterhalten.

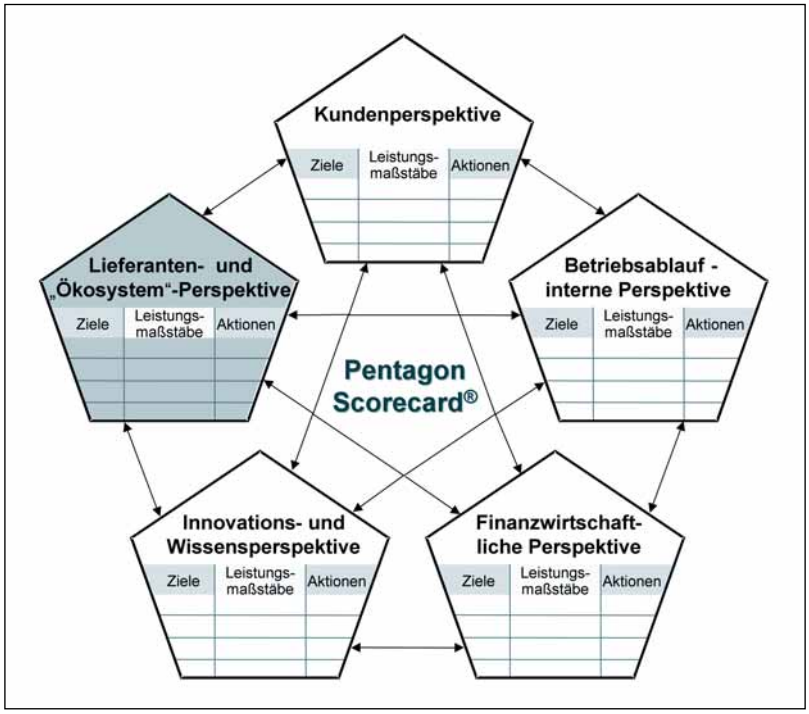


Abb. 1: Pentagon Scorecard ist eine eingetragene Wortmarke von Dr. Nicolas Sokianos

Das besonders herausragende Merkmal der BSC, die Darstellung verschiedener Perspektiven, wurde als methodischer Prozess bei der Ausführung meiner Audits berücksichtigt. Es gibt jedoch auch deutliche Unterschiede in der Handhabung: Während das BSC-Konzept seine volle Wirkung durch Einsatz und Monitoring über mehrere Jahre entfaltet und somit recht aufwendig (und für den Mittelstand zu teuer ist), ist mein Audit-Verfahren deutlich schlanker gestaltet und liefert recht zügig konkrete Erkenntnisse und Empfehlungen. Sein Nachteil gegenüber der BSC liegt in der Gefahr unzureichender Kontinuität in der Umsetzung.

Die beteiligten Unternehmen

An meinen Studien haben sich acht Lieferanten der Automobilindustrie beteiligt: fünf davon direkt, einer indirekt, zwei aus Berlin sowie einer aus Thüringen und zwei aus Bayern. Unternehmen wurde über eine

unter meiner Leitung durchgeführte Master-Arbeit (Produktionssysteme) involviert. In Unternehmen wurde flankierend ein von mir betreuter Diplomand (Produktionstechnik) eingesetzt. Auf eine konkrete Nennung der Unternehmen wird aus Gründen der Vertraulichkeit verzichtet, jedoch sollen einige Angaben zu deren Charakterisierung genannt werden.

Nr.	Unternehmen	Tier Stufe	Mitarbeiter	ISO TS 16949	Motiv für die Mitwirkung	Ort	exportiert
01N	selbständiges Familienunternehmen	2	ca. 220	ja	Effizienzsteigerung, Expansion	Berlin	ja
02H	selbständiges Familienunternehmen	1	ca. 300	ja	Werkserweiterung, Qualitätsprobleme	Thüringen	ja
03P	Konzern-Tochter	1	ca. 400	ja	Segmentierung, Kostensenkung	Berlin	ja
04W	Konzern-Tochter	1	ca. 300	nein	Fabrikplanung Erweiterung	Bayern	nein
05O	Konzern-Tochter	2	ca. 270	ja	Wissenschaftliche Unterstützung	Berlin	ja
06I	Konzern-Tochter	1	ca. 60	nein	Verbesserungen im Service/Engineering	Bayern	nein
07L	selbständiges Familienunternehmen	3	ca. 8	nein	Verbesserung der Prozesse	Berlin	nein
08M	Tochter-Gesellschaft	3	ca. 120	nein	Umsatzerweiterung	Brandenburg	nein

Weitere Unternehmen, die sich beteiligt haben, werden hier nicht dargestellt, weil sie in anderen Branchen tätig sind und somit einer weiteren empirischen Auswertung unterzogen werden müssen (Luftfahrt- und Bahnindustrie sowie Umwelt- und Medizintechnik).

Prozess und Modalitäten

Das Audit wurde in mehreren Stufen durch persönliche Interviews von durchschnittlich 8% der Mitarbeiter auf Basis der mit der Geschäftsführung getroffenen Vereinbarung durchgeführt. Zunächst sind die Zielsetzung und das Kommunikations- sowie das Auswertungsverfahren erläutert und vereinbart worden.

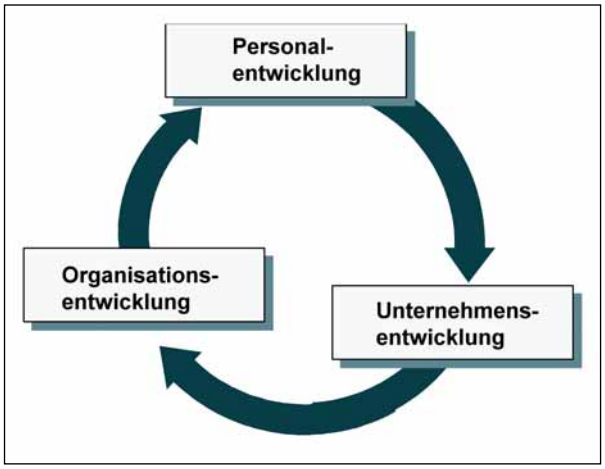


Abb. 2: Wechselwirkungen zwischen Unternehmensentwicklung, Personalentwicklung und Organisationsentwicklung

Zu den Prämissen meinerseits gehörte die Wahrung strikter **Anonymität** sowie die Beteiligung des **Betriebsrates** (sofern vorhanden) und der jeweiligen **Personalabteilung**. Diese Vorsichtsmaßnahmen sind erforderlich, damit das Vertrauen der Interviewpartner gewonnen werden konnte; eine wesentliche Voraussetzung für die Gewinnung eines ungefilterten Bildes von der Basis her, aber unter Beteiligung von Führungskräften, da sie ebenfalls Akteure des Produktionssystems sind. Allerdings wurden nicht nur Schwächen gesucht, wie in einem klassischen Qualitätsaudit, das nach Defiziten und Abweichungen Ausschau hält, sondern auch

Stärken und Perspektiven sowie Chancen. Somit stellt sich der Rahmen der Wechselwirkungen zwischen **Unternehmensentwicklung, Personalentwicklung und Organisationsentwicklung** dar, jeweils im Kontext der Einführung neuer Technologien oder der Erweiterung der Produktionsstätten (Customising des Audits).

Prozessdisziplin und Unternehmenskultur als Schlüsselfaktoren

Der Umfang der Befunde sowie die vereinbarte Vertraulichkeit erlauben es nicht, auf Einzelheiten der jeweiligen Untersuchung in diesem Papier einzugehen. Es gibt jedoch einen „gemeinsamen Nenner“: Die Prozessdisziplin. **Prozessdisziplin** ist der Grad der Befolgung der festgelegten und/oder vereinbarten Prozesse und deren Änderung. Das hört sich einfach an, ist jedoch alles andere als einfach in der **Umsetzung**. Denn Prozessdisziplin kann nur dann eingefordert werden, wenn die Prozesse sinnvoll entwickelt, kommuniziert und dokumentiert worden sind und gelebt werden. In Fällen, wo die Sinnhaftigkeit nicht gegeben war, wurden die Abläufe nach der Meinung des jeweiligen Mitarbeiters oder Teams neu oder ad hoc fixiert, nicht immer nachvollziehbar und auch nicht immer richtig.
Die mühsame Entwicklung, Überprüfung und Einhaltung von Prozessen ist eine Stärke von TPS. Sie erklärt gleichzeitig, warum japanische Unternehmen Veränderungen von Prozessen, die mehr Innovation am Produkt mit sich bringen, eher ablehnen als befürworten: Weil dadurch die gesamten Prozessnetze neu justiert und validiert werden müssen. Im Gespräch mit einem Manager von Toyota hat er mir signalisiert, dass ein Kopieren des Toyota-Produktionssystems äußerst schwierig sein würde, denn die (europäischen) Konkurrenten hätten nicht die Toyota-**Kultur** im Umgang mit den Mitarbeitern und auch nicht die erforderliche Prozessdisziplin. Also würden sie wahrscheinlich scheitern. Zu ähnlichen Ergebnissen kommt auch Linker, der TPS als Gesamtkonzept der ganzheitlichen Unternehmensführung herausstellt und nicht als eine Ansammlung von Werkzeugen, wie manchmal behauptet wird [Lin 05].

Die Lieferanten- und Ökosystem-Perspektive

Der zweite wesentliche Befund bedarf einer soliden Berücksichtigung der Lieferanten-Interessen. Unter Ökosystem ist das Partner-Umfeld mit seinen Stakeholdern definiert. Dieses Kriterium ist von der Pentagon-Scorecard ® abgeleitet worden. Bemerkenswertes Ergebnis: Getrieben von der Kundenorientierung (oder von der Macht des abnehmenden OEM) übersehen die Unternehmen manchmal, dass sie selber Kunden sind und die Interessen ihrer Lieferanten und Partner genauso ernst und dauerhaft gestalten sollten, wie sie selber von den mächtigen OEM´s behandelt werden wollen. Die Untersuchung hat auch gezeigt, dass die kleineren Unternehmen durch durchdachte und eingespielte Prozesse, die auch gelebt werden, verbunden mit einer nachhaltig gepflegten Kultur innerhalb und außerhalb des Unternehmens (Partner-Perspektive) ihre Position im Wettbewerb verbessern können (und umgekehrt!). In etablierten Großunternehmen (Tochtergesellschaften von Konzernen) fällt dieser Aspekt weniger kritisch auf, die Auswirkungen von Defiziten bezüglich der Prozessdisziplin sind besser beherrschbar. Dieser Befund korreliert mit der Erkenntnis, dass der administrative Aufwand pro Wertschöpfungsstunde mit abnehmender Unternehmensgröße zunimmt. Abschließend sei vermerkt, dass die Entwicklung und der Betrieb eines Produktionssystems hoher Prozessdisziplin zunächst Ressourcen in der Entstehungsphase und dann Ressourcen zur Beibehaltung sowie Weiterentwicklung benötigt. Hier haben die größeren Unternehmen deutliche Vorteile.

Zusammenfassung

Prozessdisziplin in der Gestaltung belastbarer Kunden-Lieferanten-Beziehungen verbunden mit einer gelebten Kultur im Umgang miteinander (einschließlich der Lieferanten), macht auf lange Sicht den Unterschied in Produktionssystemen aus, der sogar über **sein** oder **nicht sein** in Zeiten der Wirtschaftskrise mit entscheidend sein könnte. „Harte Faktoren“, abgeleitet aus der quantifizierbaren **Prozessdisziplin** sind von „weichen“ Faktoren der **Unternehmenskultur** abhängig.

Literatur

[Lin 05] Jeffrey K. Linker (2005): The Toyota Way, McGrow-Hill 2004, USA, griechische Übersetzung 2005, Athen, S. 85.

[Sac 06] Sackmann, Sonja (2006): Toyota Motor Corporation: Eine Fallstudie aus unternehmenskultureller Perspektive, Bertelsmann Stiftung.

[Sok 04] Sokianos, Nicolas (2004): Unternehmensentwicklung und operative Steuerung mit der Pentagon Scorecard; In: Forschungsbericht der Technischen Fachhochschule Berlin, S. 96ff..

[Shi 92] Shingeo, Shingo (1992): Das Erfolgsgeheimnis der Toyota Produktion, Moderne Industrie, Landsberg.

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Nicolas P. Sokianos
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Str. 10
13353 Berlin
Telefon: +49 030-4504 2939 / 2219
E-Mail: sokianos@beuth-hochschule.de

Hydrierung PVC-haltiger Kunststoffabfälle bei niedrigem Druck

Dipl.-Ing. (FH) Manfred Marks, Prof. Dr. Rainer Geike Forschungsschwerpunkt: Reaktionstechnik

Kurzfassung

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich mit Untersuchungen zum rohstofflichen Recycling von PVC-haltigen Kunststoffabfällen mittels Hydrierung bei niedrigem Druck. Eine Miniplant wurde geplant und errichtet. In aufwendigen Versuchsfahrten wurden Kunststoffmischungen mit und ohne PVC sowie aufbereitete reale Abfallmischungen eingesetzt. In Abhängigkeit vom Einsatzstoff werden deutlich unterschiedliche Mengen an Flüssigprodukt (Öl) erhalten.

Abstract

This research makes a contribution to the development of a liquefaction process of PVC containing plastics waste. A mini-plant was planned and built. Blends of pure plastic and real plastic waste were liquefied at low pressure. Depending on feed composition and process conditions different oil yields were reached.

Einleitung

Ziel der Arbeiten, die im Rahmen der Forschungsassistenz IV der TFH Berlin durchgeführt wurden, war die Gewinnung von Aussagen zu einer Verflüssigung PVC-haltiger Kunststoffabfälle. Erste Forschungsarbeiten auf diesem Gebiet wurden durch den Kooperationspartner bereits zu Beginn der 90er Jahre durchgeführt. Die Ergebnisse wurden damals in einem Forschungsbericht [Kön 93] veröffentlicht und das Verfahrensprinzip in der Patentschrift DE19547259A1 offengelegt. Diese früheren Untersuchungen [Kön 93] zur milden Hydrierung von Kunststoffabfällen wurden überwiegend diskontinuierlich in 50 ml-Laborautoklaven mit Einwaagen von 5 g durchgeführt. Unter diesen Bedingungen konnten jedoch kaum belastbare Aussagen in Bezug auf Ausbeute und Produktqualität gewonnen werden.
Die aktuellen wirtschaftlichen und abfallrechtlichen Randbedingungen wurden ebenso wie die sehr umfangreichen Vorarbeiten zu Entwurf und Aufbau der Versuchsanlage bereits vorgestellt [Mar 08].
Hauptkomponenten der einstufigen Anlage sind ein Extruder zum Dosieren der Kunststoffschmelze, Pumpen für Vorlageöl und Methanol, der Rührreaktor (5 l Gesamtvolumen, Füllstand auf Höhe des Schauglases 2,5 l) und die Kondensatoren. Die Kapazität der Miniplant wurde mit 0,5 - 1 kg/h Kunststoffdurchsatz so gewählt, dass einerseits ausreichend Probenmaterial zur Charakterisierung der Reaktionsprodukte anfällt und anderseits der Labormaßstab nicht überschritten wird.
Im Mai 2008 erfolgte der Aufbau der Anlage, nach mehreren Modifikationen erfolgten im Juni die ersten erfolgreichen Anlagentests. Im Zeitraum bis Dezember 2008 wurden in einer Reihe von Versuchen Mischungen reiner Kunststoffe – mit und ohne PVC – sowie zwei reale Abfallmischungen eingesetzt. Das Ziel bestand darin, die Polymergemische bei niedrigen Drücken (ca. 10 bar) und Temperaturen von 390 - 400°C in Anwesenheit von Methanol und Katalysatoren zu raffineriegängigen Chemierohstoffen umzusetzen. Methanol soll dabei nicht als Lösungsmittel, sondern als Wasserstofflieferant dienen. Beim Anfahren der Anlage wurde ein „Trägeröl“ vorgelegt. Nach dem Aufheizen wurde mit der Dosierung von Kunststoff und Methanol begonnen, die Anlage wurde quasi-kontinuierlich betrieben. Die Versuchszeit lag jeweils bei etwa 14 Stunden. Standardversuchsbedingungen waren:

- Temperatur im Sumpf des Reaktors: 400°C,
- Druck im Reaktor: 10 bar (Ü),
- Temperaturprofil Extruder: Zone 1: 180°C, Zone 2: 220°C,
- Anteil Katalysator im Sumpf: 2,0 Ma%,
- Einsatz Kunststoffmischung: 500 g/h,
- Einsatz Methanol: 100 g/h,
- Vorlage Trägeröl: 1250 g (Typ Shell Thermia),
- Vorlage Kunststoffmischung: 1250 g.

Versuchsergebnisse

Erwartungsgemäß verlief die Umsetzung der reinen Kunststoffe – eine Mischung aus 55% LDPE, 25% PP und 20% PS – technisch problemlos. Als Produkt wurde ein Kondensat erhalten, dass bei Zugabe von Methanol

aus zwei Phasen bestand (Abb. 1). Die leichte Phase, die Ölphase, wurde als Zielprodukt betrachtet. Im entnommenen Sumpfprodukt wurde durch Pentan- bzw. Toluenextraktion ebenfalls ein Öl erhalten, das aus dem eingesetzten Trägeröl und schweren Spaltprodukten des Kunststoffs besteht. Die „Ausbeuten“ wurden berechnet als Verhältnis von gewonnenem Kondensatöl, bezogen auf den eingesetzten Kunststoff. Tab. 1 zeigt für ausgewählte Versuche mit der genannten Kunststoffmischung die erhaltenen Ausbeuten bei Einsatz von drei verschiedenen zeolithischen Katalysatoren, als Mittelwert über den gesamten Versuchszeitraum. Das zusätzliche Zinkoxid sollte eigentlich die Methanolzersetzung und damit die Produktbildung fördern, die Ausbeute bei diesem Versuch ist jedoch schlechter. Lediglich bei dem Katalysator ZSM5 wird eine Ausbeute von über 70% erreicht, alle anderen Werte sind völlig unzureichend. Bei Verdopplung des Kunststoffmassenstromes sinkt die Ausbeute ganz deutlich, die Verweilzeit im Reaktor reicht offensichtlich nicht aus.

Katalysator	Besonderheiten	Ausbeute [g Kondensatöl / g KS]
Faujasit		0,38
Zeolith A	Zugabe von ZnO	0,51
Zeolith A		0,55
ZSM5		0,72
ZSM5	doppelter Durchsatz	0,45

Tab. 1: Ausbeuten für ausgewählte Versuche

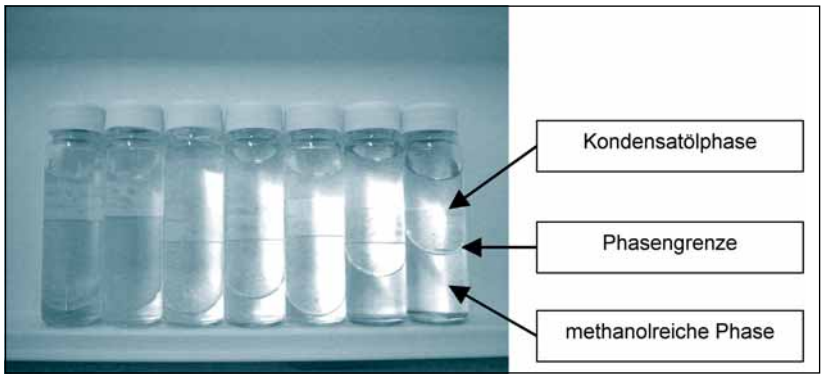


Abb. 1: Proben der Versuchsfahrt mit 2% PVC in der Kunststoffmischung

In einem zweiten Versuchskomplex wurden definierte Mischungen der bereits genannten Kunststoffe mit PVC-Anteilen von 2 bis 15% eingesetzt. Zur Bindung des bei der Reaktion entstehenden Chlorwasserstoffs wurde dem PVC als Füllstoff gebrannter Kalk zugesetzt. Die Ausbeute an Kondensatöl lag bei Einsatz von 2 - 10% PVC bei etwa 54% (+/- 0,5%), d.h. trotz Einsatz von ZSM5 deutlich geringer als bei den Versuchen mit der PVC-freien Kunststoffmischung. Bei 15% PVC verringerte sich die Ausbeute noch einmal deutlich auf etwa 44%. Abb. 2 zeigt die auf die eingesetzte Kunststoffmenge bezogenen Ausbeuten an Rückstand, Gesamt-Öl und Gas. Bei diesen Daten ist der (geringe) Ölgewinn im Sumpfprodukt ebenfalls enthalten.

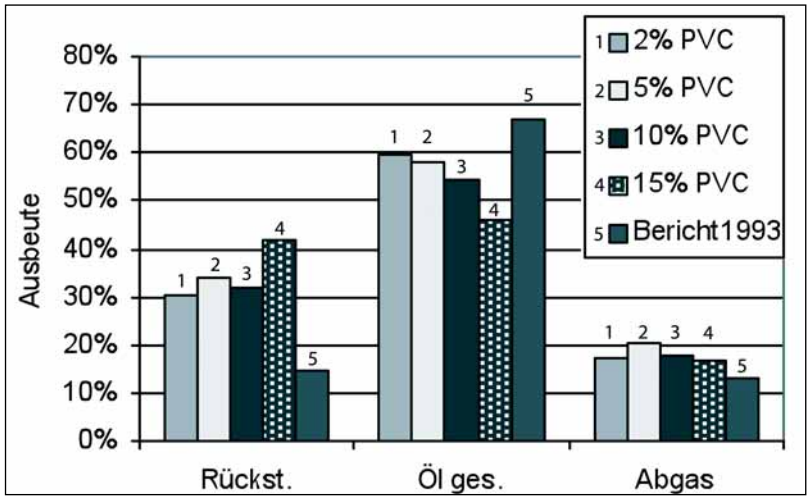


Abb. 2: Vergleich der Ausbeuten bei Einsatz PVC-haltiger Kunststoffmischungen

Im Vergleich zu den Ergebnissen von 1993 [Kön 93] wird deutlich weniger Öl und dafür mehr Rückstand und mehr Gas erhalten. Die Hauptursache für diese Differenzen dürfte in der anderen Betriebsweise liegen. Im Autoklav sind Methanol und bei der Methanolzersetzung entstandener Wasserstoff „eingesperrt", während sie in der kontinuierlich betriebenen Anlage sehr schnell entweichen können. Dazu kommen ein höheres Methanol/Kunststoff-Verhältnis und der höhere Druck in den Miniautoklaven (10 bar Kaltdruck, vor dem Aufheizen) gegenüber 10 bar Prozessdruck in der kontinuierlichen Anlage. Da der aus der Umsetzung von PVC stammende Chlorwasserstoff nicht im erhofften Maße gebunden werden konnte, fand sich ein erheblicher Anteil von Chlorwasserstoff im schweren Kondensat (Methanolphase). Die Anteile im Öl lagen bei 15% PVC bei 170 ppm, das ergibt einen Austrag von 0,16% des Chlors über das Produktöl. Für eine direkte Verwertung des Öls ist dieser Chlorgehalt allerdings noch deutlich zu hoch. Im dritten Versuchskomplex wurden schließlich zwei authentische PVC-haltige Kunststoffabfallgemische untersucht. Diese stammen aus zwei unterschiedlichen Sortieranlagen mit jeweils trockenmechanischer Aufbereitung. Zum einen handelte es sich um ein Agglomerat aus der Aufbereitung von Verpackungsabfällen und zum anderen um einen hochkalorischen Ersatzbrennstoff (EBS) aus der Aufbereitung von Hausmüll und Gewerbeabfall. Beide Einsatzstoffe wurden aufwendig vorbehandelt, um sie in der Miniplant einsetzen zu können (Zerkleinern, Anschmelzen in einem größeren Extruder, Zerkleinern). Die erhaltenen Ausbeuten liegen bei vergleichbaren Versuchsbedingungen bei nur 32 bzw. 27%, bezogen auf aschefreien Abfall, also noch einmal deutlich unter den Werten der PVC-haltigen Mischungen. Die Gründe dafür liegen sicher in den niedrigen Kunststoffgehalten, für das EBS-Produkt wurden 70 - 80% geschätzt, und den verschiedenen Schadstoffen, die möglicherweise den Katalysator schädigen. Zusätzlich war die Qualität der Kondensatöle deutlich schlechter im Vergleich zu den anderen Versuchskomplexen. Sie waren deutlich dunkler und weniger lagerstabil, die Bromaufnahmen betrugen mit 0,4 bis 0,7 g/100ml ein Mehrfaches der Werte für die anderen Versuche.

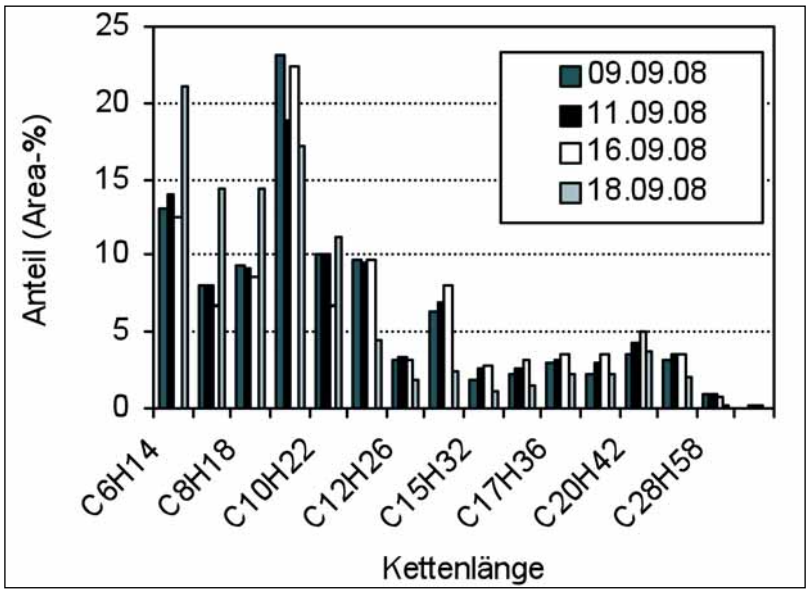


Abb. 3: Simulierte Destillation – Auftragung der Ergebnisse für das Kondensat-Öl der vier Versuchsreihen mit PVC-haltigen Kunststoffmischungen (2/5/10/15% PVC)

Abb. 3 zeigt eine typische Darstellung der aus der GC-MS erhaltenen Kettenlängenverteilung für das Kondensatöl. Deutlich zu erkennen sind das Maximum zum Siedebeginn und ein zweites Maximum bei etwa C9-Kohlenwasserstoffen. Bei der Unterteilung in Stoffgruppen finden sich hauptsächlich Aliphaten (43 - 47%) und Aromaten (34 - 48%) sowie cyclische Kohlenwasserstoffe (5 - 13%).
Probleme beim Versuchsbetrieb ergeben sich durch Korrosion, insbesondere im Bereich der Rührwerksabdichtung, und die Verschmutzung der Schaugläser, so dass eine Füllstandskontrolle schwierig wird.

Zusammenfassung und Ausblick

Eine Umsetzung geeigneter Kunststoffmischungen ist unter den gewählten Prozessbedingungen möglich. Bei Vorhandensein von PVC muss eine Dechlorierung als erste Prozessstufe vorgeschaltet werden. Die beiden bisher getesteten realen Gemische eignen sich allerdings nicht für eine Verflüssigung nach diesem Verfahrenskonzept, der Anteil verwertbarer Kunststoffanteile ist zu gering.

Das Projekt wurde gemeinsam mit der uve GmbH durchgeführt und durch die Investitionsbank Berlin im Programm ProFIT, auch mit Mitteln des Europäischen Fonds für regionale Entwicklung, gefördert.
Die Autoren bedanken sich für die erhaltene Unterstützung bei den Leitern und Mitarbeitern der Labore für Organische und Makromolekulare Chemie (FB II) und Kunststoffverarbeitung und -prüfung (FB VIII).

Literatur

[Mar 08] Marks, Manfred; Geike, Rainer (2008): Hydrierung PVC-haltiger Kunststoffabfälle bei niedrigem Druck. In: Forschungsassistenz IV der Technischen Fachhochschule Berlin, S. 102-106.

[Kön 93] König, Michael; Marks, Manfred (1993): Katalytische Druckhydrierung von organischen Abfallstoffen in Gegenwart von Methanol. Abschlussbericht zum Forschungsvorhaben AIF Nr. D-257 und der DGMK Nr. 471, Berlin.

Kontakt

Prof. Dr. Rainer Geike
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Str. 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 2936
E-Mail: rgfgeike@beuth-hochschule.de

Energie aus Meereswellen Turbinen mit oszillierender Luftströmung zur Nutzung von Wellenenergie

Prof. Dr.-Ing. Bracke Forschungsschwerpunkt: Energiegewinnung aus Meereswellen

Kurzfassung

Die Beschreibung der Meereswellen ist aus mathematischer Sicht als sehr umfangreich anzusehen. Gleichwohl ist aber bei der Umsetzung der Wellenenergie in die praktischen Nutzung, hinsichtlich eines Kraftwerkbetriebes, noch viel experimentelle Arbeit zu leisten. Dies gilt auch für OWC-(oszillating water column) Kraftwerke. Das Labor für konventionelle und erneuerbare Energien an der TFH Berlin untersucht das Zusammenwirken von Welle und Kraftwerk intensiv. Dabei wurde nicht nur eine Turbine für die oszillierende Luftströmung eines OWC-Kraftwerkes entwickelt, sondern auch z.B. der leistungssteigernde Einfluss eines Wellenfängers als vorgeschaltetes Bauwerk nachgewiesen.

Abstract

Describing ocean waves from a mathematical point of view should be considered as a very extensive task. Similarly, there is still considerable experimental work to be carried out in the implementation of wave energy for practical use with regard to power station operation. This is also the case for OWC (Oscillating Water Column) power stations. Intensive research is being undertaken at the Labor für konventionelle und erneuerbare Energien (Laboratory for Conventional and Renewable Energy) at the TFH Berlin with regard to the linked effects between wave and power station. Hereby, not only a turbine for the oscillating air flow of an OWC power station was developed but also, for example, the power increasing influence of a wave catcher as a forward mounted construction was demonstrated.

Einleitung

Die Nutzung der Energie aus Meereswellen ist nach Jahren der Stagnation wieder ein Thema. Das Potential der Energie, die in den Wellen steckt, ist gewaltig. An der Küste von Schottland beispielsweise enthält eine Welle eine Leistung von ca. 70 kW/Meter, vor Portugal sind es immer noch 40 kW/Meter.
Diese Wellenleistung muss aber umgewandelt werden, vornehmlich in elektrische Leistung. Zurzeit sind zwei Verfahren der Energiewandlung besonders erwähnenswert:

a) Pelamis: Eine Art „Schlange“ aus Stahlrohren liegt dabei mit ca. 150 m Länge auf den Wellenkämmen, unterteilt in 50 m-Segmente. Die Knickung der Elemente durch die durchlaufenden Wellen wird in hydraulische Energie und danach in elektrische Energie umgewandelt.
b) Limpet: Die Kraftwerke auf Islay (Schottland) und ein ähnliches auf den Azoren arbeiten nach dem OWC-Prinzip (oscillating water column). Dabei treibt eine in eine Kammer einlaufende Meereswelle die Luft in der Kammer über eine Rohröffnung aus, die ablaufende Welle saugt die Luft aus der Umgebung wieder ein. Die in der Kammer oszillierende Wassersäule treibt somit über den ebenfalls oszillierenden Luftstrom eine Turbine an, die nach Prof. Wells benannt ist.

Abb. 1: Wellenkraftwerk nach dem OWC-Prinzip

Haupteil

Die Nutzung der Meereswellen-Energie wirft aber noch viele Fragen auf. Dieses Thema zählt sicherlich zu den am wenigsten erforschten innerhalb der erneuerbaren Energien. Forschungsarbeit ist deshalb dringend angesagt.
Seit 2000 hat sich an der TFH Berlin das Labor für konventionelle und erneuerbare Energien etabliert, zeitgleich mit dem neuen Studiengang Maschinenbau – Erneuerbare Energien. Ein Wellenkanal mit Kraftwerksteil stellt die neueste Entwicklung des Labors dar.
Dieses Wellenkraftwerk beinhaltet neben dem eigentlichen Wellenkanal mit Wellenerzeuger einen Kraftwerksaufbau nach dem OWC-Prinzip. Der durch die Wellenbewegung hervorgerufene oszillierende Luftstrom treibt eine spezielle Turbine (KEE-Turbine) an, die trotz des Richtungswechsels der treibenden Luft um 180° den Drehsinn nicht ändert.

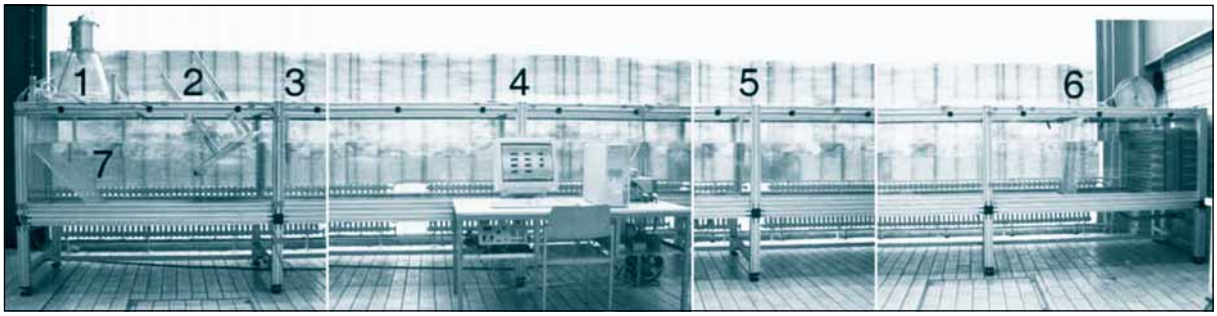


Abb. 2: Wellenkanal mit Kraftwerksteil

1	2	3	4	5	6	7
Turbine	Wellen-fänger	Wellen-höhen-sensor 1	Rechner zur Erfassung und Verarbeitung von Messsignalen	Wellen-höhen-sensor 2	Wellen-erzeuger	Kammer

Die KEE-Turbine mit 200 mm Durchmesser erforderte vorab eine Schaufelprofil-Entwicklung im Windkanal, da nur symmetrische Profile einen leitkanalfreien Betrieb ermöglichen. Aus acht Profilentwürfen konnte ein Profil gewonnen werden, das die größten Vortriebswerte in Umfangsrichtung innerhalb des größten Winkelbereiches der resultierenden Anströmung ermöglichte. Mit diesem Profil wurde die Turbine gefertigt. Der Turbinenläufer kann konstruktiv bedingt leicht getauscht werden, um einerseits die Gitterwirkung zu testen (3-9 Flügel) und andererseits die Montage anderer Flügel zu ermöglichen.

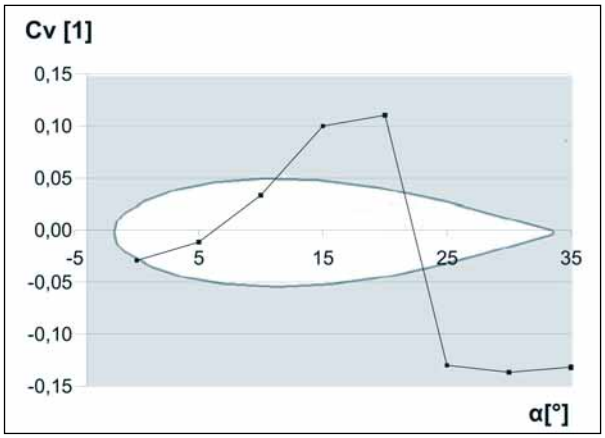


Abb. 3: Flügel-Profil mit Vortriebsbeiwert

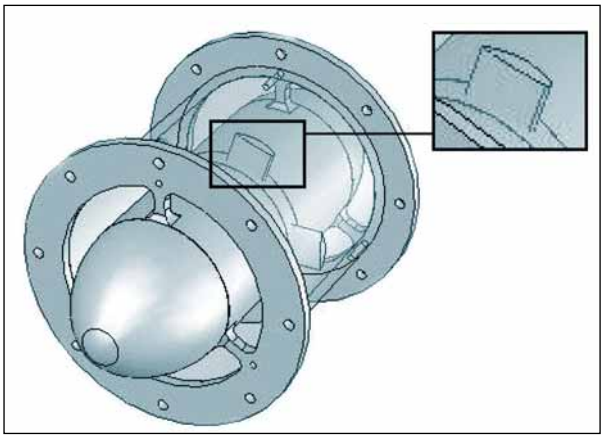


Abb. 4: Turbine für oszillierende Luftströmung

Diese Turbine wird nun benutzt, um unter realistischen Bedingungen die Verhältnisse zwischen Welle, Kraftwerkskammer und Turbine darzustellen. Die Turbine ist komplett ausgestattet, inkl. Generator.
Obwohl an der Theorie der Energiewandlung noch Feinarbeit geleistet wird, ist bereits ein verlässliches Berechnungsmodell im Einsatz, das mit einem Ersatzvolumen der Welle arbeitet, das mit der linearen (Aery) Theorie korrespondiert. Auf dieser Basis sind Bestimmungen des Kraftwerkswirkungsgrades ausreichend

genau möglich. Zu diesem Zweck ist die Wellenform zu erfassen, weil die Wellenparameter Wellenhöhe (H), Wellenausdehnung (L) und Wellenperiode λ , bzw. Periodendauer τ in die Berechnung eingehen.

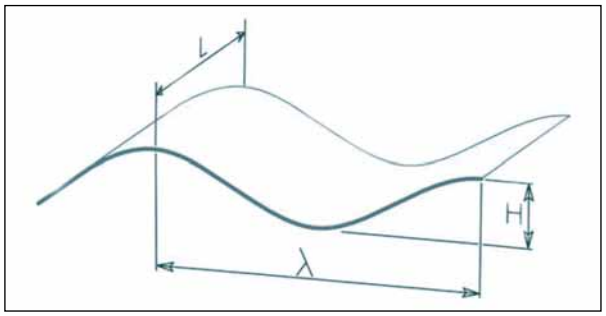


Abb. 5: Welle mit Parametern L,H, λ

Der Kanal ist mit voll entsalztem Wasser gefüllt (keine Kalkablagerungen, kein Algenwachstum). Darum kann auf die übliche Widerstandsmessung nicht zurückgegriffen werden. Im Handel befindliche Niveaumessgeräte sind für die gestellte Aufgabe zu langsam. Es war daher notwendig, aus physikalischen Grundüberlegungen heraus ein eigenes Messsystem zu entwickeln. Dieses ermöglicht die exakte Abbildung der durchlaufenden Wellen auf dem Computer.

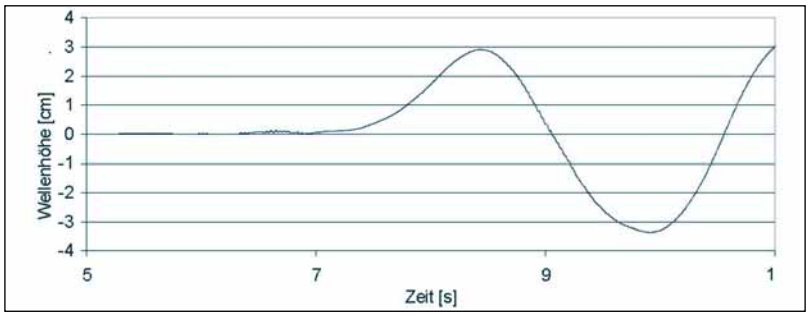


Abb. 6: Wellengang der Welle ohne Reflexionseinflüsse

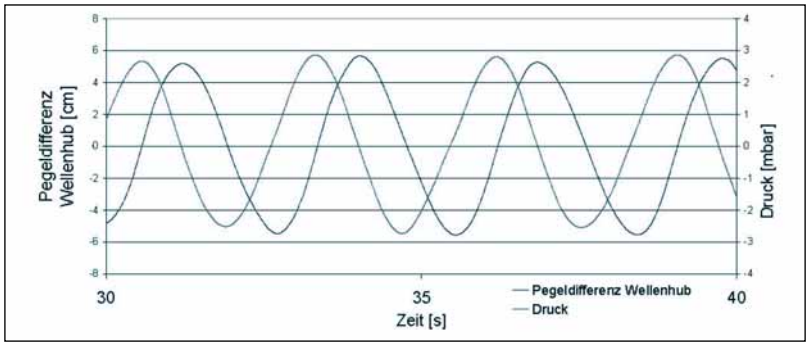


Abb. 7: Wellenhub in der Kraftwerkskammer, verglichen mit dem Druck über dem Wasserpegel

Abb.6: zeigt den Wellengang der Welle ohne Reflexionseinflüsse und Abb.7 den Wellenhub in der Kraftwerkskammer, verglichen mit dem Druck über dem Wasserpegel der Kraftwerkskammer.

Zusammenfassung

Mit dem Aufbau des Wellenkraftwerkes inklusive einer Turbinenentwicklung zur Nutzung der durch den Wellengang erzeugten oszillierenden Luftströmung wurden entscheidende Vorarbeiten für weitere Untersuchungen geleistet. An der Optimierung des Kraftwerksbetriebes wird derzeit gearbeitet, z.B. kann durch spezielle Einbauten die in die Kammer einlaufende Wassermasse vergrößert werden. Dieses steigert natürlich den Wirkungsgrad und hilft zugleich – mit einem Ausblick auf die spätere praktische Anwendung – Überschüsse aus zu hohem Seegang (Sturm) zu vernichten. Damit würde die Turbine geschützt, die, wie in der Vergangenheit beim Prototypen auf Islay geschehen, bei hohem Seegang schon geflutet wurde.

Literatur

[Bra 08] Bracke, Theo (2008): Formelsammlung OWC-Wellenkraftwerk, TFH Berlin.

[Dea 08] Dean, Robert G; Dalrymple, Robert A. (2008): Water Wave Mechanics for Engineers and Scientists, Advanced Series on Ocean Engineering – Volume 2, World Scientific.

[Gra 95] Graw, Kai-Uwe; (1995): Wellenenergie – eine hydromechanische Analyse, Lehr- und Forschungsgebiet Wasserbau und Wasserwirtschaft, Bergische Universität – Gesamthochschule Wuppertal.

[Hea 06] Heath, Tom (2006): The Construction, Commissioning and Operation of the LIMPET Wave Energy Collector, Applied Research & Technology Ltd..

Kontakt

Prof. Dr.-Ing. Bracke
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Str. 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 2775 / 2454
E-Mail: laborkee@beuth-hochschule.de

KFN Neuberger
91 x 132 2C
Platzierung
ohne

Einsatz automatisierter Simulationsprozessketten am Beispiel einer Triebwerkskomponente

Prof. Dr. Joachim Villwock, M. Eng. Bernd Meißner, Marek Podogzinski, Dr. Roland Parchem
Forschungsschwerpunkt: Simulationsprozesse

Kurzfassung

Anhand der Auslegung und Optimierung des Spaltverhaltens zwischen Turbinenschaufel und Gehäuse eines fiktiven Flugzeugtriebwerks wird die Bedeutung automatisierter Simulations-Prozessketten bei der Entwicklung moderner Bauteile aufgezeigt. Sensitivitätsstudien und Optimierung des stationären und instationären Spaltverhaltens werden durchgeführt sowie Probleme der Robustheit eines Bauteils angesprochen.

Abstract

The importance of automatic simulation processes in the development of modern designs is shown through the example of the optimsation of tip clearance of a turbine module of a fictive gas turbine engine. Sensitivity studies and optimisation of the tip clearance will be done. Additionally, the problem of robustness will be discussed.

Einleitung

Heutzutage ist es, aufgrund gestiegener Rechnerleistung möglich, zur Optimierung eines Bauteils – z.B. hinsichtlich des Gewichts und der Lebensdauer – viele hundert unterschiedliche Konfigurationen zu berechen. Dabei können sowohl die Geometrie eines Bauteils, als auch dessen thermale, aerodynamische und mechanischen Randbedingungen variiert werden. Des Weiteren unterliegt die Fertigung eines Bauteils Toleranzen, Bauteile verschleißen und Lasten schwanken im Betrieb. Das hat zur Folge, dass auch die Robustheit eines Bauteils im Betrieb, also dessen Empfindlichkeit gegenüber diesen allfällig vorhandenen Schwankungen untersucht werden muss, was wiederum die Berechnung von sehr vielen unterschiedlichen Konfigurationen und Betriebszuständen nach sich zieht. Bei Rolls-Royce Deutschland (RRD) existieren Ansätze, Multikriterien-Optimierung und die Robustheitsanalyse im Entwicklungsprozess umzusetzen. Hierzu werden für die in Betracht zu nehmenden Bauteile automatische Simulations-Prozessketten aufgebaut. Der vorliegende Bericht stellt die Optimierung des Spaltverhaltens des Hochdruck-Turbinenmoduls (siehe Abb. 1) auf der Basis thermomechanischer, in eine automatische Simulations-Prozesskette eingebauter, Finite-Elemente-Berechnungen vor.

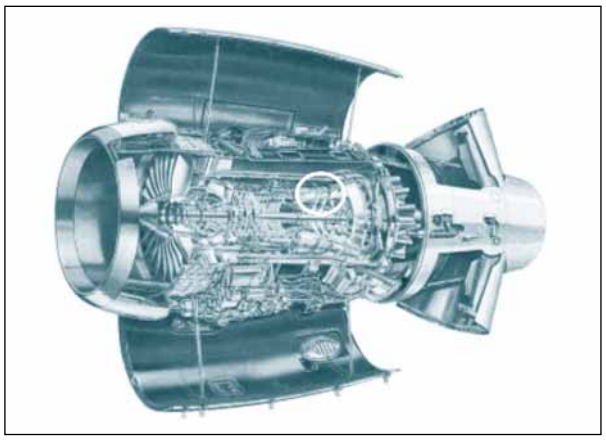


Abb. 1: Triebwerk BR 710

Die thermomechanische Prozesskette

Zur Berechnung des Spaltverhaltens wird eine thermomechanische Prozesskette mit Hilfe des Programmsystems *iSight FD* (siehe Abb. 2) aufgebaut. Die thermomechanischen Berechnungen werden mit Hilfe eines Rolls-Royce FE-Programms (*SCo3*) durchgeführt.

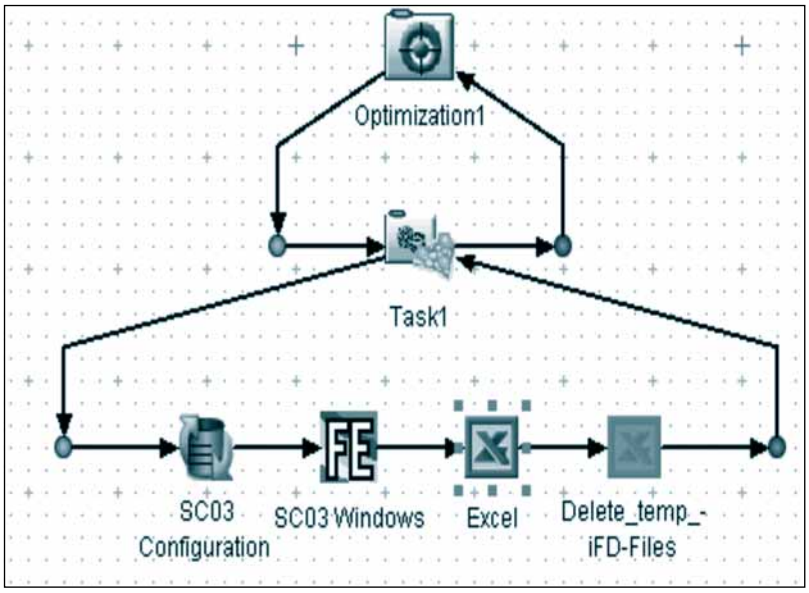


Abb. 2: Prozesskette

Die einzelnen Module kommunizieren über ASCII-Dateien, die einen Zugriff auf die Randbedingungen der Berechnungen ermöglichen. Im Modul „*SC03-Configuration*“ werden die Randbedingungen, die später von der Optimierungsroutine verändert werden können, festgelegt. Das Modul „*SC03-Windows*“ führt die thermomechanische FEM-Berechnung der speziellen Konfiguration durch, und in dem *Excel*-Modul werden die Ergebnisse aufbereitet, um dann wieder an die Optimierung übergeben zu werden. Soll zusätzlich die Geometrie verändert werden, so wird ein CAD-Modul in die Prozesskette integriert.

Auslegung des Schaufelspalts

Zur Auslegung des Spaltes zwischen Schaufel und Gehäuse unterscheidet man zwischen stationärem und instationärem Auslegen. Beim stationären Auslegen werden gesättigte Temperaturen in den einzelnen Bauteilen betrachtet, die sich während des jeweiligen Flugzustands nicht weiter verändern Entscheidend dabei ist nicht das eigentliche Spaltmaß, sondern vielmehr die Differenz der Spaltmaße für die einzelnen Zustände, z.B. zwischen Startphase (*take off*) und Reiseflugbedingung (*cruise*).
In einem zweiten Schritt wird darauf aufbauend das instationäre thermische Ausdehnungsverhalten von Schaufel-Scheibe und Gehäuse beim Wechsel von einem Flugzustand zu einem anderen betrachtet. Dies ist entscheidend, um im Flugbetrieb den so genannten *hot reslam* zu vermeiden. Der *hot reslam* bezeichnet einen unerwünschten Kontakt von Rotor (Scheibe und Schaufel) und Turbinengehäuse bei der Beschleunigung des Triebwerks aus einem gesättigten Zustand.
Bei einem langen Reiseflug sind sowohl das Turbinengehäuse als auch der Rotor vollständig auf einem hohen Niveau durchwärmt. Wird nun auf Niederlastbetrieb, z.B. Leerlauf (*idle*) gewechselt, so sinkt die Temperatur des Turbinengehäuses aufgrund der dünnerer Wand und somit geringeren thermischen Kapazität schneller, als die der Rotorscheibe mit einer höheren Masse. Somit ist zu einem bestimmten Zeitpunkt die Rotorscheibe aufgrund der hohen Temperatur ausgedehnt, wogegen das Turbinengehäuse schon abgekühlt und geschrumpft ist. Wenn zu diesem Zeitpunkt in einen Hochlastbetrieb (*max take off, MTO*) gewechselt wird, steigen die Drehzahlen des Rotors. Dieser wird sich aufgrund der Fliehkraft weiter in Richtung des Turbinengehäuses ausdehnen. Dabei kann es zum Kontakt zwischen Rotor und Turbinengehäuse kommen. Um dies zu vermeiden, muss der „stationäre“ Spalt entsprechend vergrößert werden, was dazu führt, dass die Verluste im Triebwerk steigen. Um diesen Effekt zu minimieren, existieren bei RRD konstruktive Ansätze, die die thermischen Ausdehnungen von Rotor und Gehäuse entkoppeln.

Stationäre Auslegung des Schaufelspalts

Zur Berechnung des stationären Spaltsmaßes wird ein thermomechanisches FE-Modell erzeugt und für die verschiedenen Flugzustände (*idle, cruise, MTO*) berechnet.

Ziel der Analysen ist die Minimierung der Spaltdifferenz zwischen Reiseflug und unterschiedlichen maximalen Startbedingungen. Da die Anzahl der Parameter, die die thermomechanischen Randbedingungen definieren, sehr groß ist, wird zu Beginn des Prozesses eine Sensitivitätsanalyse (*Design-of-Experience, DOE*) durchgeführt. Betrachtet wird hierbei ein vereinfachtes Turbinenmodul und kein aktuelles RRD-Design.
Es zeigt sich, dass die größten Abhängigkeiten der Spalte im Bereich der Scheibendrehzahl und der Kühlluftströme liegen. Mit den Parametern, die den größten Einfluss auf das Spaltverhalten ausüben, wird eine Multikriterien-Optimierung durchgeführt. Zielfunktionen sind hier jeweils die Differenzen der Spaltmaße zwischen zwei unterschiedlichen Startbedingungen (*MTO1 und MTO2*) und dem Reiseflug (*cruise*). Die resultierende Paretofront ist in Abb. 3 dargestellt. Für jeden Punkt auf der Paretofront gilt ein anderer Satz von Eingangsgrößen. Deutlich ist zu erkennen, dass nicht mehr nur ein optimaler Zustand existiert. Vielmehr existieren pareto-optimale Zustände, was bedeutet, dass bei einer Entfernung von einem Zustand auf der Paretofront, die für ein Zielkriterium eine Verbesserung darstellen würde, sich gleichzeitig mindestens ein anderes verschlechtert.

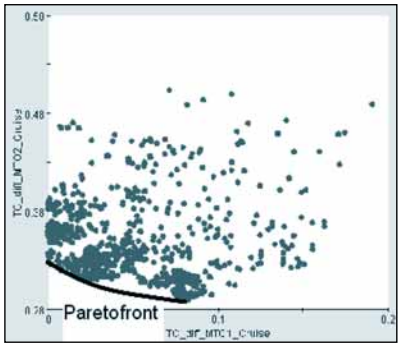


Abb. 3: Paretofront

Robustheit

Für einen Punkt auf der Paretofront wird eine Montecarlo-Simulation durchgeführt, Kühlstrom-Temperaturen werden normalverteilt mit einer Standardabweichung von 5% und Drehzahlen normalverteilt und mit einer Standardabweichung von 2% betrachtet (siehe Abb. 4).

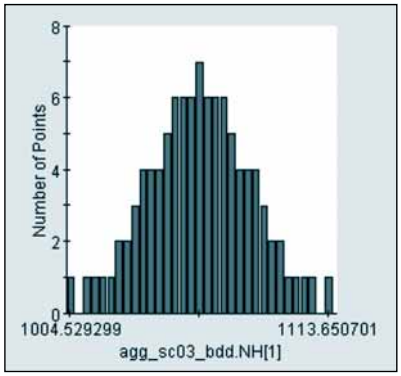


Abb. 4.: Normalverteilung

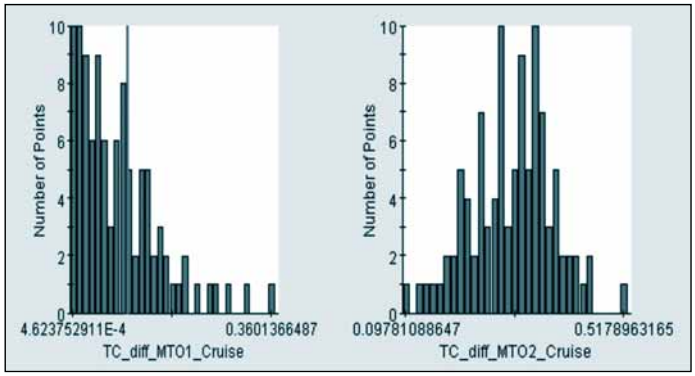


Abb. 5: Verteilung der Spaltmaße

Die Komplexität des Systems wird dadurch deutlich, dass die Spaltdifferenzen von (Startbedingung 2 zu *Cruise*) annähernd normalverteilt „reagieren“, während die Verteilung der Spaltdifferenz zwischen Startzustand 1 und Reiseflug keineswegs normalverteilt sind (siehe Abb. 5). Des Weiteren ist zu erkennen, dass die in Betracht genommene Abweichung der Eingangsgrößen zu starken Schwankungen der Spaltmaße führen. Eine Optimierung des Systems auf Robustheit erscheint also sinnvoll.

Instationäres Auslegen des Schaufelspalts

Das unterschiedliche Ausdehnungsverhalten von Rotor und Gehäuse wird in Abb. 6 deutlich. Hier ist die Spaltmaßänderung beim Übergang von Reiseflug zu MTO aufgetragen. Deutlich ist zu sehen, dass sich bei der

Beschleunigung der Scheibe spontan das Spaltmaß aufgrund der Ausdehnung der Scheibe unter Fliehkraft verringert. Aufgrund des unterschiedlichen thermalen Zeitverhaltens zwischen Scheibe und Gehäuse entsteht der in Abb. 6 dargestellte Überschwinger dadurch, dass sich zunächst das Gehäuse aufwärmt und sich ausdehnt, während die nachfolgende Durchwärmung der Scheibe und die daraus resultierende Ausdehnung das Spaltmaß wieder verringert. Ziel ist es, konstruktiv den „Überschwinger“ durch geeignete Materialwahl der einzelnen Komponenten und Steuerung der Kühlflussmenge zu minimieren.

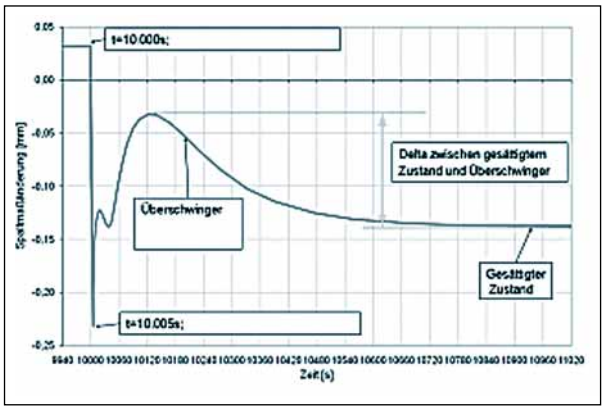


Abb. 6: Instationäre Spaltmaßänderung

Hierzu wird wieder eine Sensitivitätsstudie (DOE) durchgeführt, um die Abhängigkeit der Größe des Überschwingers von den Eingangsgrößen zu bestimmen. Mit den einflussreichsten Parametern wird im Anschluss eine Optimierung durchgeführt mit dem Ziel, den „Überschwinger“ zu minimieren. Mit Hilfe einer geeigneten Materialwahl der Komponenten, der Temperatur der entsprechenden Kühlströme und der Masse der Komponenten, lässt sich der Überschwinger um ca. 50% reduzieren.

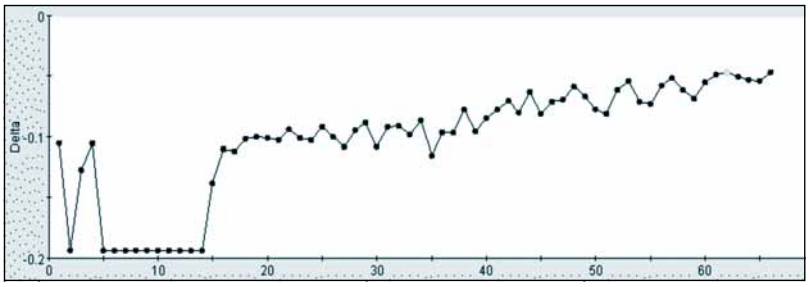


Abb. 7: Optimierung Spaltmaß

Ausblick

Es zeigt sich, dass mit Hilfe einer automatisierten Prozesskette komplizierte Bauteile hinsichtlich ihres thermo-mechanischen Verhaltens optimiert werden können. Da sich bei der instationären Optimierung des Spaltmaßes das stationäre Spaltmaß ändert, muss zukünftig die Auslegung parallel in einer Optimierungsschleife erfolgen. Ziel in mittlerer Zukunft ist die Ausdehnung des Prozesses auf eine vollständige Robustheitsoptimierung, die also zufällige verteilte Eingangsgrößen in die Optimierung einbezieht und neben der Zielgröße an sich auch die Minimierung ihrer Varianz als Zielfunktion einbezieht. Erste Ansätze an einfachen Geometrien existieren hier bereits.

Zusammenfassung

Der Einsatz einer automatisierten Prozesskette am Beispiel der Optimierung des Spaltverhaltens des Turbinenmoduls eines Flugzeugtriebwerks wird dargestellt. Unterschiede in der Auslegung für gesättigte und transiente Zustände werden dargestellt.

Literatur

[Mei 07] B. Meissner; R. Parchem; P. Caraux (2007): An Engineering Application for Optimisation, Robustness and Reliability Methods Demonstrated on a GasTurbine Component Paper: Weimar Optimization- and Stochastics Days – November 29-30.

Kontakt

Prof. Dr. Joachim Villwock
Beuth Hochschule für Technik Berlin
Luxemburger Str. 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 5101
E-Mail: villwock@beuth-hochschule.de

Kooperation

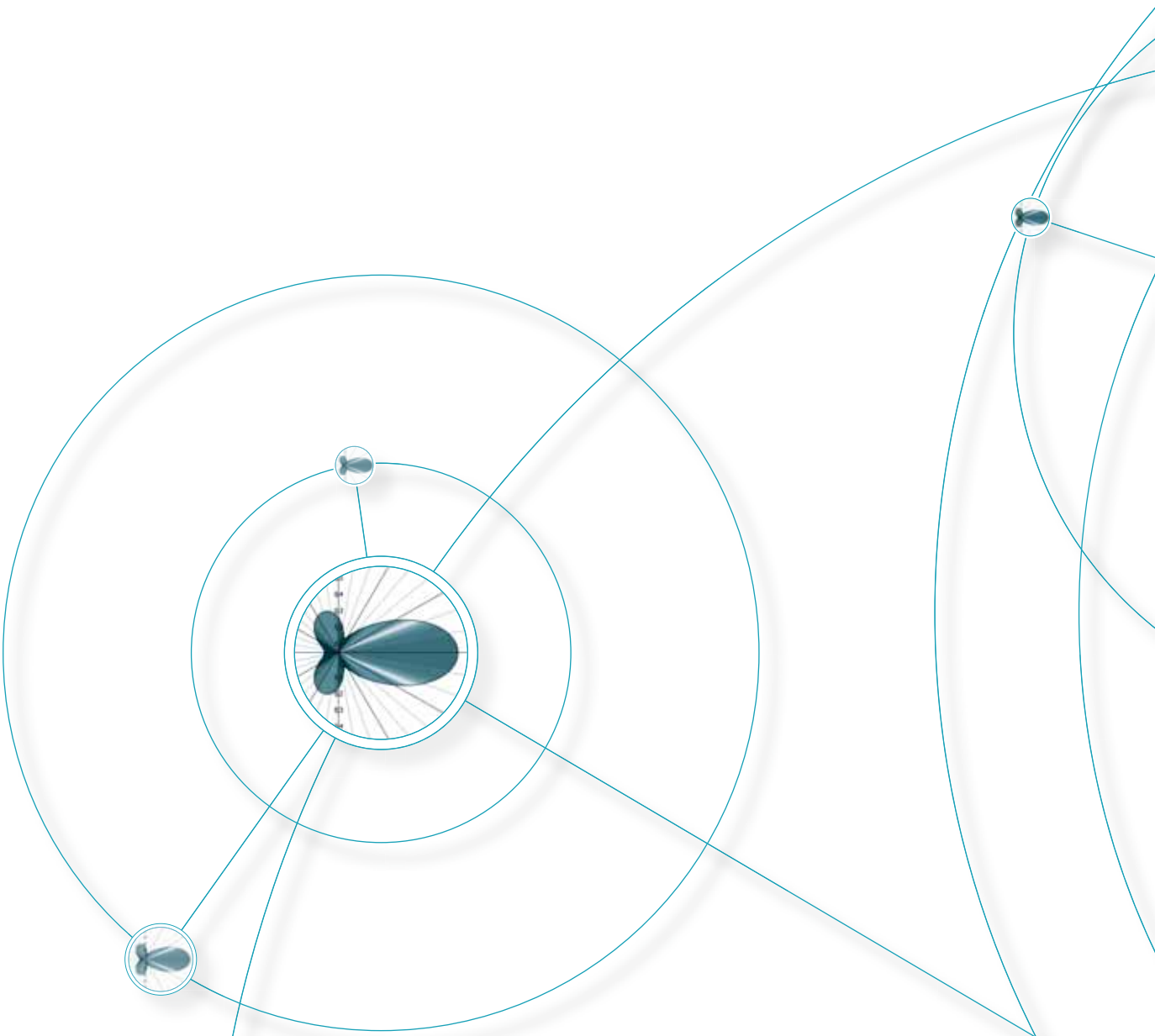
- Rolls-Royce Deutschland Ltd. & Co. KG
- Dr. Roland Parchem
- M. Eng. Bernd Meißner

Forschungsassistenz „Wachstumsbereiche“

Im Rahmen des Projektes Forschungsassistenz werden innovative Konzepte von den Forschungsassistentinnen und Forschungsassistenten auf ihre wirtschaftliche Umsetzbarkeit geprüft und in Kooperation mit den Unternehmen realisiert. Aus den Mitteln des Europäischen Sozialfonds gefördert, können die Forscherinnen und Forscher 18 Monate lang ihre kooperativen Projekte in den Laboren der Beuth Hochschule voranbringen. Anwendungsorientierte Forschung insbesondere in den Berliner Forschungsclustern wird damit gezielt gefördert und der Kontakt mit potenziellen Arbeitgebern in der Wirtschaft hergestellt, mit dem Ziel eine Anstellung der Forschungsassistentinnen und Forschungsassistenten in den Unternehmen zu erreichen.

Forschungsassistent/in	Forschungsgebiet	Betreuer/in
Biotechnologie		
Hilal Bilek	Weiterentwicklung von Drug-Delivery-Systemen	Prof. Dr. Mont Kumpugdee Vollrath
Shireen Weise	Proteomanalyse und Identifizierung von post-translationalen Modifikationen in Proteinen	Prof. Dr. Roza Maria Kamp
Josephine Reiss	Entwicklung eines molekularbiologischen Verfahrens zum Nachweis von Parasiten in Trink- und Brauchwässern	Prof. Dr. Herbert Weber
N.N.	Optische Biosensoren zur Bestimmung von Protein-Interaktionen	Prof. Dr. Walter Wörner
Anthony Anyahaebizi	Entwicklung eines Produktzertifikats zur Identifikation, Unversehrtheitsprüfung und zum Markenschutz	Prof. Dr. Hans Demanowski
Medizintechnik		
Dirk Naparty	Biosensorik für eine Kunsthand	Prof. Dr. Alfred Rozek
Verkehrstechnik		
Nadja Lemcke	Entwicklung eines flexiblen Kartiermoduls mit FE und GIS	Prof. Dr. Bernd Meißner/ Prof. Dr. Ursula Ripke
Uwe Hofmann	Entwicklung wirtschaftlicher GNNS-Positionssysteme	Prof. Dr. Wilfried Korth
Matthias Voss	Kavitierende Strömung in Diesel-Einspritzsystemen	Prof. Dr. Peter Bartsch
N.N.	Entwicklung eines Schiffsschraubenantriebes für ein Wasserfahrzeug bis zur Serienreife	Prof. Dr. Clemens Lehmann
Informations- und Kommunikationstechnologien		
N.N.	Fortschrittliche Prozesse und Systeme im Einkauf für KMUs Labor Betriebswirtschaftliche EDV-Anwendungen	Prof. Dr. Klaus Helbig
Norbert Gorenflo	Schallausbreitung in Innenräumen	Prof. Dr. Martin Ochmann
Nadja Schmid	Softwaresystem zur Analyse, Reparatur und Aufbereitung von CAD-Modellen	Prof. Dr. Margitta Pries
Benett Schulte	3D-Modell des Grenzssystems der DDR um West-Berlin auf Basis von KML und Google Sketch-Up	Prof. Dr. Jürgen Schweikart
Benjamin Wolf	Entwicklung und Implementierung erweiterter Reportmöglichkeiten über die Fortschritte in Lernsoftware	Prof. Dr. Agathe Merceron
Andreas Hilbert	Weiterentwicklung und Qualitätsverbesserung des Sprachsynthesesystems microdress	Prof. Dr. Hansjörg Mixdorff
Nenad Stokic	Entwicklung eines Namens-Displays, das Daten über RFID-Transponder bezieht	Prof. Dr. Joachim Rauchfuß
Ina Krukenberg	Innovative stationäre und mobile IT-Services für das Grünflächenmanagement	Prof. Dr. Petra Sauer
N.N.	Sichere und zuverlässige Firewall-Systeme von Minix 3	Prof. Dr. Rüdiger Weis
Marcus Siewert	Bionical morphological computation	Prof. Dr. Hans-Dieter Kleinschrodt

Forschungsassistent/in	Forschungsgebiet	Betreuer/in
N.N.	Wissensbasierte Projektplanung mit dem Wissensstrukturplan	Prof. Dipl.-Ing. Siegfried Paul
Optische Technologien		
Martin Floth	Optische 3D-Messtechnik für eine berührungslose Erfassung von Objektoberflächen	Prof. Dipl.-Ing. Michael Breuer
Energie und Umwelt		
Thomas Tian	Innovative Betriebskonzepte für Tier- und Freizeitanlagen	Prof. Dipl.-Ing. Katja Biek
Yvonne Dietrich	Entwicklung und Aufbau von Versuchsständen zum Bautenschutz	Prof. Dr. Martin Behne
Dr. Charlotte Hagner	Entwicklung eines Gütesiegels für den Facility Management Sektor	Prof. Dipl.-Kfm. Kai Kummert



Impressum

Eine Publikation der Beuth Hochschule für Technik Berlin

Luxemburger Straße 10
13353 Berlin
Telefon: +49 30-4504 2043
www.beuth-hochschule.de

HerausgeberIn:
Prof. Dr.-Ing. Reinhard Thümer (Präsident)
Prof. Dr. Gudrun Görlitz (Vizepräsidentin für Forschung und Entwicklung)

Redaktion:
Sandra Arndt (TechnologieTransfer)
Monika Jansen (Pressestelle)

Layout/Realisierung:
bfmg-berlin/Büro für Mediengestaltung Gunnar Schwalm
www.bfmg-berlin.de

Druck:
Verlag für Marketing und Kommunikation GmbH & Co. KG
www.vmk-verlag.de

Oktober 2009

ISBN: 978-3-938576-20-5

ISBN: 978-3-938576-20-5